www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

15e JAARGANG No. 11, blz. 317-348 NOVEMBER 1953

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

DE PRODUCTIE VAN RADIO-ISOTOPEN

door A. H. W. ATEN Jr. *) en J. HALBERSTADT **).

539.167.3

De toepassing van kunstmatig radioactieve elementen (radio-isotopen), zowel voor biologische en medische doeleinden als in de industrie en bij wetenschappelijk onderzoek van allerlei aard, verheugt zich in een toenemende belangstelling. De bereiding van radio-isotopen geschiedt zowel in de zg. uraniumreactor als met behulp van het cyclotron. In onderstaand artikel wordt deze productie beschreven, waarbij vooral aandacht wordt besteed aan de producten welke in Amsterdam met behulp van het Philips synchrocyclotron worden verkregen.

De mogelijkheid, langs kunstmatige weg van de meeste elementen nieuwe, voordien onbekende, isotopen te maken, die doorgaans radioactief zijn, heeft geleid tot de ontwikkeling van een belangrijk hulpmiddel van onderzoek op allerlei gebied: de zg. indicatoren- of „tracer"-methode, die in dit tijdschrift al eens uitvoerig is besproken [1]). Daarnaast hebben de radio-isotopen grote betekenis gekregen in de geneeskunde, voor diagnostische en therapeutische toepassingen. Aan de grote vraag naar allerlei soorten radio-isotopen, die hieruit is ontstaan, wordt voldaan door een geregelde productie in een aantal over de wereld verspreide centra, waarbij hetzij een uraniumreactor, hetzij een deeltjesversneller als bron wordt gebruikt.

Doel van dit artikel is, te beschrijven op welke wijze door middel van het Philips synchrocyclotron te Amsterdam kunstmatig radioactieve stoffen worden verkregen [2]). Daarbij zullen eerst enige algemene beschouwingen ten beste worden gegeven. Vervolgens zullen de kernreacties worden genoemd die regelmatig door ons voor de productie van radio-isotopen worden gebruikt, en zullen bijzonderheden worden meegedeeld over de uitvoering van de bestraling (constructie van de trefplaat). Ten slotte zal een overzicht worden gegeven van de chemische werkwijzen die worden gebruikt om de bereide isotopen in zuivere toestand af te scheiden.

Algemene kenmerken van kernreacties [3])

De bereiding van radio-isotopen geschiedt door zg. kernreacties. Daarbij worden stabiele kernen getransformeerd door deze bloot te stellen aan een stroom van projectielen, die uit snelle, lichte kernen bestaan. Als projectielen komen voornamelijk in aanmerking alphadeeltjes ($_2He^4$), deuteronen (d.z. kernen van het isotoop met atoomgewicht 2 van waterstof, dus $_1H^2$, meestal geschreven $_1D^2$) en neutronen ($_0n^1$). Deuteronen en alphadeeltjes worden met het cyclotron verkregen. Alphadeeltjes kunnen ook met behulp van radioactieve stoffen worden verkregen, maar niet in technisch rendabele hoeveelheid. Neutronen verkrijgt men in hoofdzaak uit de uraniumreactoren.

Men kan zich de reactie tussen het projectiel en de kern zodanig voorstellen dat eerst door versmelting een „tussenkern" ontstaat, die wegens de grote inwendige energie (kinetische energie van het projectiel + bindingsenergie bij de versmelting) zeer instabiel is en daardoor onmiddellijk uiteenvalt, onder uitzending van een of meer lichte deeltjes.

*) Instituut voor Kernphysisch Onderzoek, Amsterdam.
**) Isotopenlaboratorium N.V. Philips-Roxane, Amsterdam.
[1]) A. H. W. Aten Jr. en F. A. Heyn, De toepassing van isotopen als indicatoren, en De techniek van het werken met radioactieve isotopen, Philips techn. T. **8**, 296-303 en 330-336, 1946.
[2]) Voor een beschrijving van dit cyclotron, zie Philips techn. T. **12**, 245-260 en 353-364, 1950; **14**, 291-300, 1952 (No. 10).
[3]) Voor een algemener overzicht van de feiten en een recapitulatie van de belangrijkste begrippen der kernphysica kan worden verwezen naar bijv. S. Glasstone, Sourcebook on atomic energy, Mc Millan, Londen 1950.
Een beknopt overzicht, dat voor dit artikel al voldoende is, vindt men ook in: W. de Groot, Kernphysica, Philips techn. T. **2**, 97-102, 1937.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Een bijzondere rol spelen neutronen als bestralingsprojectielen. In de eerste plaats kunnen zelfs langzame neutronen gemakkelijk door een kern worden opgenomen, omdat ze niet electrostatisch worden afgestoten. De gevormde instabiele tussenkern valt dan niet uiteen maar gaat, onder uitzending van een gammaquantum, in een meer stabiele vorm over, die niettemin in de meeste gevallen radioactief is.

Treffen langzame of snelle neutronen een zeer zware kern, bijv. van uranium of thorium, dan kan een nieuw verschijnsel optreden, nl. de kernsplijting. De instabiele tussenkern gaat nu niet in een stabielere vorm over door uitzending van een of meer lichte deeltjes, maar door in twee ongeveer even zware brokstukken uiteen te vallen, die elk op zichzelf weer radioactieve kernen zijn. Bovendien komen bij deze splijtingsreactie een of meer neutronen vrij. Dit is dan ook de oorzaak waardoor een uraniumreactor een krachtige neutronenbron is.

De meeste radio-isotopen zijn β-actief, dwz. zij desintegreren onder uitzending van een negatief of een positief electron. Enkele gaan in een ander isotoop over doordat de kern een electron uit de K-schil van zijn electronenwolk opslokt (K-vangst).

Indien men een aantal (p) van een zekere soort projectielen op een preparaat afschiet, geeft niet ieder projectiel aanleiding tot de vorming van een radioactief atoom. Slechts een fractie k (<1) der projectielen is werkzaam, er ontstaan dus $N_0 = kp$ radioactieve atomen. De radioactieve werking (aantal desintegraties per seconde) van deze atomen is $N_0 \ln 2/T_{\frac{1}{2}}$, als met $T_{\frac{1}{2}}$ de halveringstijd van de atoomsoort in seconden wordt aangeduid. Daar p deeltjes, ieder met lading Ze, een electrische lading pZe representeren, is dus de opbrengst aan activiteit:

$$\frac{N_0 \ln 2/T_{\frac{1}{2}}}{pZe}, \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

d.i., uitgedrukt in microcurie per microampèreuur [4]): $4 \cdot 10^{11}\, k/ZT_{\frac{1}{2}}$. In de practijk is $k = 0{,}0001$ tot $0{,}001$.

Een ander belangrijk gegeven, dat men vaak wenst te kennen, is de sterkte van het preparaat per gram materiaal. Bevat het preparaat alleen de actieve atomen (aantal N_0, atoomgewicht A), dan is het gewicht van het preparaat $(N_0/N_A)A$, waarin N_A het getal van Avogadro is ($6 \cdot 10^{23}$ atomen per gramatoom). De activiteit is $N_0 \ln 2/T_{\frac{1}{2}}$, dus de massa in milligram per millicurie:

$$(N_0/N_A)A : (N_0 \ln 2/T_{\frac{1}{2}}) \approx 10^{-13}\, A\, T_{\frac{1}{2}} \text{ mg/mc}. \quad (2)$$

Overzicht der mogelijke kernreacties

Wij laten nu de verschillende mogelijke kernreacties de revue passeren, waarbij we ons uiteraard beperken tot een aantal karakteristieke voorbeelden.

Reacties met neutronen

Een nadeel van de bestraling met neutronen, bijv. bij de vorming van radioactief natrium volgens de reactie

$$_0n^1 + {}_{11}Na^{23} \rightarrow {}_{11}Na^{24} + \gamma$$

(waarin γ een gammaquantum voorstelt), is dat men bij zulk een bestraling het actieve product verkrijgt te midden van een grote hoeveelheid inactief materiaal waarvan het chemisch niet te scheiden is. Tegen het genoemde nadeel weegt de omstandigheid op, dat het rendement van de neutronenabsorptie (kans dat een neutron, dat het materiaal treft, ook werkelijk door een kern wordt gevangen) vooral bij thermische neutronen vaak zeer groot is. Indien men dan bovendien over een krachtige bron van thermische neutronen beschikt (uraniumreactor), kan men soms zeer sterke preparaten verkrijgen. Zo kan men goud activeren tot een sterkte van enkele honderden millicuries per gram. In andere gevallen (zoals bij de vorming van Sr^{89}) krijgt men veel zwakkere preparaten, op zijn hoogst enkele microcurie per gram.

In sommige gevallen kan men ten gevolge van een bijzondere omstandigheid toch een volledige scheiding van een door bestraling met neutronen verkregen isotoop bewerkstelligen. Het bij het vangen van een neutron door een atoomkern vrijkomende gammaquantum met frequentie ν is niet alleen drager van een energie $h\nu$ maar ook van een „hoeveelheid van beweging" $h\nu/c$ (h is de constante van Planck, c is de lichtsnelheid). Krachtens de wet van behoud van hoeveelheid van beweging moet de kern (met massa m), die dit quantum uitzendt, een snelheid v in tegengestelde richting krijgen, zodanig dat $mv = h\nu/c$. De hieraan beantwoordende kinetische energie $\frac{1}{2}mv^2$ is meestal 10 à 100 maal groter dan de chemische bindingsenergie, zodat, indien de bestraalde atoomsoort chemisch gebonden is aan andere atomen, het gevormde isotoop uit het molecuulverband wordt losgeslagen (Szilard-Chalmers effect). Als men bijv. aethyljodide met neutronen activeert, dan kan men uit de bestraalde vloeistof het radioactieve vrije jodium vrijwel onvermengd met inactief jodium („dragervrij") isoleren.

[4]) 1 curie is oorspronkelijk een maat voor een hoeveelheid radiumemanatie, nl. voor die hoeveelheid die in evenwicht is met 1 gram radium. Thans noemt men 1 curie die hoeveelheid van een radioactieve stof welke $3{,}7 \cdot 10^{10}$ desintegraties per seconde vertoont.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In bepaalde gevallen ontstaat het gewenste radio-isotoop niet direct, maar als radioactief omzettingsproduct van een primair verkregen atoomsoort. Dit is bijv. het geval bij de productie van actief $_{53}J^{131}$ door bestraling van $_{52}Te^{130}$ met neutronen in de uraniumreactor. Hierbij ontstaat primair het actieve $_{52}Te^{131}$ (halveringstijd 25 min). Door β-emissie gaat $_{52}Te^{131}$ niet over in een stabiele atoomsoort maar in het zelf weer actieve $_{53}J^{131}$:

$$_0n^1 + {}_{52}Te^{130} \rightarrow {}_{52}Te^{131}, \quad {}_{52}Te^{131} \xrightarrow[25\ \text{min}]{\beta^-} {}_{53}J^{131},$$

dat een halveringstijd heeft van 8 dagen:

$$_{53}J^{131} \xrightarrow[8\ \text{d}]{\beta^-} {}_{54}X^{131}.$$

Enkele uren na de bestraling zal het bestraalde tellurium dus een hoeveelheid actief J bevatten. Het zal duidelijk zijn dat een dergelijke methode alleen kans van succes heeft in die gevallen waarin de halveringstijd van het „dochter"-isotoop lang is ten opzichte van die van het „moeder"-isotoop.

Met neutronen zijn ook andere reacties mogelijk dan de besproken neutronenabsorptie. Als voorbeeld noemen wij de reacties

$$_0n^1 + {}_{17}Cl^{35} \rightarrow {}_{15}P^{32} + {}_2He^4,$$
$$_0n^1 + {}_{17}Cl^{35} \rightarrow {}_{16}S^{35} + {}_1H^1.$$

Voor deze processen heeft men neutronen met grotere energie (ongeveer 1 MeV) nodig, die eveneens door de uraniumreactor worden geleverd. Een verder voorbeeld is de reactie

$$_0n^1 + {}_{16}S^{32} \rightarrow {}_{15}P^{32} + {}_1H^1.$$

Voor reacties met nog snellere neutronen (>1 MeV) echter is men op het cyclotron aangewezen. Neutronen ontstaan daarbij als bijproduct bij de bestraling van preparaten met deuteronen of met alphadeeltjes. Deze neutronen hebben een energie, groter dan de maximale energie van de neutronen die door de uraniumreactor worden geproduceerd. Met zulke snelle neutronen zijn verschillende typen reacties mogelijk, bijv.:

$$_0n^1 + {}_{27}Co^{59} \rightarrow {}_{26}Fe^{59} + {}_1H^1,$$
$$_0n^1 + {}_{13}Al^{27} \rightarrow {}_{11}Na^{24} + {}_2He^4,$$
$$_0n^1 + {}_{11}Na^{23} \rightarrow {}_{11}Na^{22} + 2\ {}_0n^1.$$

Bestraling met neutronen door middel van het cyclotron is altijd een secundair proces met een relatief niet grote opbrengst. Wil men van de snelle, door het cyclotron geproduceerde neutronen thermische neutronen maken (met energie < 1 eV), dan heeft men nog het nadeel dat men de neutronen een vrij dikke laag paraffine moet laten passeren, die buiten het cyclotron moet worden aangebracht. Ten gevolge daarvan is de stroomdichtheid der thermische neutronen in het geval van het cyclotron gering. Dit nadeel bestaat niet bij bestraling in het cyclotron met snelle neutronen. In dat geval kan men de te bestralen stof binnen in de versnellingsruimte in de buurt van de trefplaat opstellen.

Voor het verkrijgen van sterke preparaten door bestraling met thermische neutronen of met neutronen van kleine energie (< 1 MeV) zal men dus liever gebruik maken van de uraniumreactor; zwakkere preparaten kan men ook met het cyclotron verkrijgen. Daarbij heeft men nog het voordeel dat de langzame neutronen die buiten de cyclotronruimte treden, geheel vrij zijn van andere deeltjes, zodat men zeker weet alleen met neutronenstralen te doen te hebben.

De meeste producten die bij bestraling met neutronen ontstaan, kan men overigens ook verkrijgen door directe bestraling met deuteronen.

Reacties met deuteronen

Bij bestraling met deuteronen van relatief kleine energie heeft men te maken met reacties van het type

$$_1D^2 + {}_{11}Na^{23} \rightarrow {}_{11}Na^{24} + {}_1H^1$$

of

$$_1D^2 + {}_{30}Zn^{66} \rightarrow {}_{31}Ga^{67} + {}_0n^1.$$

De eerste daarvan is equivalent met de directe neutronenabsorptie. Bij grotere deuteronenenergie (> 10 MeV) wordt een ander reactietype mogelijk, namelijk:

$$_1D^2 + {}_{29}Cu^{65} \rightarrow {}_{30}Zn^{65} + 2\ {}_0n^1.$$

Bij nog grotere energie zou men het uittreden van meer deeltjes, bijv. van 3 neutronen, mogen verwachten. Deze reacties zijn echter moeilijk waar te nemen, doordat daarnaast ook steeds de andere reacties optreden en doordat het eindproduct hier vaak een stabiel isotoop is. Maar er zijn wel enkele gevallen waarin het proces waarneembaar is, zoals de reactie

$$_1D^2 + {}_{92}U^{235} \rightarrow {}_{93}Np^{234} + 3\ {}_0n^1.$$

Speciaal bij niet te sterke kernlading komen in het geval van grote deuteronenenergie bovendien verschillende andere reacties voor waarvan men bij de bereiding van radio-isotopen groot nut kan hebben, bijv.:

$$_1D^2 + {}_{11}Na^{23} \rightarrow {}_{11}Na^{22} + {}_1D^2 + {}_0n^1,$$
$$_1D^2 + {}_{27}Co^{59} \rightarrow {}_{26}Fe^{59} + 2\ {}_1H^1,$$
$$_1D^2 + {}_{13}Al^{27} \rightarrow {}_{11}Na^{24} + {}_2He^4 + {}_1H^1,$$
$$_1D^2 + {}_{12}Mg^{24} \rightarrow {}_{11}Na^{22} + {}_2He^4,$$
$$_1D^2 + {}_{30}Zn^{64} \rightarrow {}_{27}Co^{58} + 2\ {}_2He^4.$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het is de moeite waard op te merken dat de eerste drie reacties hetzelfde resultaat hebben als de opneming van een neutron, gevolgd door de emissie van resp. twee neutronen, een proton en een α-deeltje. Men kan dezelfde producten dan ook eveneens verkrijgen door bestraling met energierijke neutronen. Daar men echter gemakkelijker een groot aantal deuteronen op een preparaat kan laten vallen dan een groot aantal energierijke neutronen, zal men in het algemeen aan bestraling met deuteronen de voorkeur geven.

Reacties met alphadeeltjes

Bestraling met alphadeeltjes wordt slechts bij uitzondering voor preparatieve doeleinden toegepast. In sommige gevallen schept deze techniek echter wel speciale mogelijkheden, zoals de bereiding van het meest gebruikte isotoop van astatium (At):

$$_2\mathrm{He}^4 + {}_{83}\mathrm{Bi}^{209} \rightarrow {}_{85}\mathrm{At}^{211} + 2\,{}_0\mathrm{n}^1.$$

Kernsplijting

Wij zagen reeds dat bij zware kernen na opnemen van een neutron kernsplijting kan optreden. In het geval van U^{235} is absorptie van een thermisch neutron daarvoor voldoende. Bij andere kernen, zoals U^{238} en Th^{232}, is het nodig dat het neutron bovendien een grote kinetische energie bezit. In het cyclotron wordt kernsplijting als preparatieve methode slechts bij uitzondering toegepast, bijv. door metallisch thorium met deuteronen te bestralen. Aangezien namelijk het splijtingsproces op een groot aantal verschillende manieren kan verlopen, krijgt men tegelijkertijd een zeer groot aantal verschillende isotopen. Dit heeft ten gevolge dat de activiteit van ieder der gevormde atoomsoorten op zichzelf betrekkelijk klein is. Er bestaan echter een aantal radio-isotopen die alleen door kernsplijting verkregen kunnen worden.

Kernreacties die in het Philips cyclotron worden toegepast

Voor de productie van bepaalde isotopen met het cyclotron is het gewenst kernreacties te zoeken met maximale opbrengst. Verder is nodig dat bekend is welke ongewenste isotopen uit nevenreacties kunnen ontstaan.

In het Philips synchrocyclotron kan men deuteronen versnellen tot een energie van 30 MeV en alphadeeltjes tot een energie van 60 MeV. Deze energieën zijn groot genoeg om een groot aantal kernreacties te doen verlopen. Anderzijds zijn deze energieën ook weer niet zo groot dat moeilijk controleerbare nevenreacties ontstaan, waarbij verscheidene kerndeeltjes de getroffen kern verlaten. Dit vereenvoudigt het probleem van de afscheiding van het gewenste product in zuivere toestand. In het voorafgaande werd reeds vermeld dat bestralingen met alphadeeltjes op een enkele uitzondering na niet aantrekkelijk zijn voor de productie van radio-isotopen. De meeste preparatieve reacties worden dan ook uitgevoerd met versnelde deuteronen, overeenkomstig de boven vermelde voorbeelden.

De deuteronreactie

$$_1\mathrm{D}^2 + {}_Z\mathrm{Q}^A \rightarrow {}_Z\mathrm{Q}^{A+1} + {}_1\mathrm{H}^1,$$

waarin $_Z\mathrm{Q}^A$ een isotoop met massagetal A van een element met kernlading Z voorstelt, ook wel kort aangeduid met $(_1\mathrm{D}^2, {}_1\mathrm{H}^1)$-reactie [5]), wordt bij het Amsterdamse cyclotron zelden of nooit gebruikt voor het maken van radio-isotopen die worden toegepast op medisch en biologisch gebied, hoewel deze reactie bij ieder bombardement voorkomt. Bij de productie van Fe^{59} uit Co^{59} bijv. ontstaat door deze reactie een aanzienlijke hoeveelheid Co^{60}. Er zijn twee redenen voor het niet gebruiken van de $(_1\mathrm{D}^2, {}_1\mathrm{H}^1)$-reactie. Ten eerste geeft deze reactie dezelfde resultaten als de $(_0\mathrm{n}^1, \gamma)$-reactie in een uraniumreactor. En hoewel momenteel de opbrengst van de $(_0\mathrm{n}^1, \gamma)$-reactie in de meeste uraniumreactoren per tijdseenheid per gram uitgangsmateriaal ongeveer gelijk is aan die van de $(_1\mathrm{D}^2, {}_1\mathrm{H}^1)$-reactie in het Amsterdamse cyclotron, heeft toch activering in de reactor verre de voorkeur, omdat dan meer materiaal tegelijkertijd kan worden bestraald en de bestralingskosten per uur veel lager zijn.

Nog belangrijker dan voornoemde reden is echter het feit dat in het cyclotron bij bombardementen met deuteronen van 30 MeV naast de $(_1\mathrm{D}^2, {}_1\mathrm{H}^1)$-reactie ook in sterke mate de $(_1\mathrm{D}^2, {}_1\mathrm{D}^2\,{}_0\mathrm{n}^1)$-reactie optreedt, en wel met een kans die niet minder dan $^1/_{10}$ is van die van de $(_1\mathrm{D}^2, {}_1\mathrm{H}^1)$-reactie. Hierdoor is het onmogelijk bijv. zuiver Na^{24} uit Na^{23} te maken, daar dan relatief aanzienlijke hoeveelheden Na^{22} ontstaan [6]), volgens de reactie

$$_1\mathrm{D}^2 + {}_{11}\mathrm{Na}^{23} \rightarrow {}_{11}\mathrm{Na}^{22} + {}_1\mathrm{D}^2 + {}_0\mathrm{n}^1.$$

Gelukkig is nu echter de „reactiekans" van de reactie

$$_1\mathrm{D}^2 + {}_{13}\mathrm{Al}^{27} \rightarrow {}_{11}\mathrm{Na}^{24} + {}_1\mathrm{H}^1 + {}_2\mathrm{He}^4$$

[5]) Algemeen duidt men een reactietype aan met (a, b) indien a het projectiel is en b het door de „tussenkern" uitgestoten deeltje (of deeltjes).

[6]) De vorming van Na^{22} naast Na^{24} is ongewenst, omdat men dan twee actieve vormen van het element Na met verschillende levensduur naast elkaar heeft, hetgeen de interpretatie van vele experimenten bemoeilijkt. Bovendien is de lange levensduur van Na^{22} voor medische toepassingen een beletsel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ook vrij groot, nl. ca. $^1/_3$ van die van de reactie

$$_1D^2 + {}_{11}Na^{23} \rightarrow {}_{11}Na^{24} + {}_1H^1,$$

zodat door bestraling van aluminium grote hoeveelheden radiochemisch zeer zuiver en bovendien „dragervrij" Na^{24} zijn te maken. Het aluminium moet dan echter volkomen vrij zijn van sporen magnesium, daar hieruit toch weer het niet gewenste Na^{22} ontstaat.

In *tabel I* zijn, naast andere gegevens, zoals halveringstijd, trefplaatmateriaal en reactietype, de opbrengsten in μc per μAh voor een aantal radio-isotopen samengevat. Daar de gemiddelde bundelintensiteit waarmee het Amsterdamse cyclotron geregeld werkt, de hoge waarde van 30 μA heeft (zij kan momenteel zelfs reeds tot ca. 40 μA worden opgevoerd), geven de opbrengstgetallen dus de activiteiten aan die door een bestraling van 2 minuten worden verkregen. De activiteit van die radio-isotopen welke desintegreren door K-electronvangst (zie boven) en die daarbij slechts een relatief langgolvige röntgenstraling uitzenden, werden bepaald met de nieuwe Geiger-Müller-röntgentelbuis van Philips [8]), een gevoelig en nauwkeurig instrument waarmee men ook voor deze straling absolute activiteitsmetingen kan doen.

Tabel I. Opbrengsten van radio-isotopen uit bombardementen met deuteronen van 30 MeV [7]).

Isotoop	Halveringstijd	Straling	Trefplaat	Reactie	μc/μAh
Be^7	53 d	K, γ	$LiBO_2$*	d, 2n	150
Na^{22}	2,6 j	$\beta+, \gamma$	Mg	d, α	2
Na^{24}	15 u	$\beta-, \gamma$	Al	d, pα	2200
Mg^{27}	9,4 m	$\beta-, \gamma$	Al	d, 2p	48000
P^{32}	14 d	$\beta-, \gamma$	FeP*	d, p	400
V^{48}	16 d	K, γ	Ti	d, 2n	350
Cr^{51}	26 d	K, γ	V	d, 2n	280
Mn^{52}	6 d	K, $\beta+, \gamma$	Cr	d, 2n	400
Mn^{54}	310 d	K, γ	Fe	d, α	5
Fe^{55}	3 j	K	Mn-Cu	d, 2n	10
Fe^{59}	47 d	$\beta-, \gamma$	Co	d, 2p	2
$Co^{56}(^{57})$	80d(270d)	K, $\beta+, \gamma$	Fe	d, 2n(n)	39(10)
Co^{58}	72 d	K, $\beta+, \gamma$	Zn	d, 2α	0,04
Co^{60}	5,3 j	$\beta-, \gamma$	Co	d, p	10
Co^{60}	5,3 j	$\beta-, \gamma$	Cu	d, p	0,17
Cu^{64}	13 u	K, $\beta+, \beta-, \gamma$	Cu	d, p	23000
Cu^{64}	13 u	K, $\beta+, \beta-, \gamma$	Zn	d, 2p d, α	1200
Cu^{67}	60 u	$\beta-$	Zn	d, 2p	1,5
Zn^{65}	250 d	K, $\beta+, \gamma$	Cu	d, 2n	20
Ga^{66}	9,4 u	K, $\beta+, \gamma$	Zn	d, 2n	3600
Ga^{67}	78 u	K, γ	Zn	d, n	700
As^{74}	17 d	$\beta+, \beta-, \gamma$	Ge	d, 2n	80
Br^{82}	35 u	$\beta-, \gamma$	KBr* K_2CO_3*	d, p	235
Rb^{86}	19 d	$\beta-, \gamma$	Sr	d, α	20
Sr^{89}	54 d	$\beta-$	Sr	d, p	5
Y^{88}	105 d	K, γ	Sr	d, 2n	55
Cd^{109}	470 d	K, γ	Ag	d, 2n	2,7
In^{114}	50 d	$\beta-, \gamma$	Cd	d, 2n	16
Au^{198}	65 u	$\beta-, \gamma$	Au	d, p	1000
Bi^{206}	6,4 d	K, γ	Pb	d, 2n	850

[7]) In de kolom „straling" betekent K de vangst van een K-electron. In de kolom „trefplaat" zijn de gevallen waarin men niet met een metaal te doen heeft, gemerkt met een * (vgl. hiervoor het volgende hoofdstuk). In de kolom „reactie" betekent p een proton ($_1H^1$), d een deuteron ($_1D^2$), α een alphadeeltje ($_2He^4$), en n een neutron ($_0n^1$).

Hoewel in tabel I wel enkele ($_1D^2$, $_1H^1$)-reacties — waarbij dus geen transmutatie optreedt — zijn opgenomen, om ook hiervoor de productiecapaciteit van het Amsterdamse cyclotron te kunnen vergelijken met die van andere cyclotrons en van de equivalente ($_0n^1$, γ)-reacties van uraniumreactoren, is de productie van radio-isotopen door transmutatiereacties toch als het speciale arbeidsveld voor een cyclotron te beschouwen.

Trefplaatconstructies voor bestraling in het cyclotron

In het cyclotron beginnen de deuteronen en de alphadeeltjes hun baan in het midden van de cylindrische versnellingsruimte. Onder invloed van het gecombineerde magnetische en electrische veld beschrijven zij spiraalvormige banen, waarbij de energie voortdurend stijgt, todat zij eindelijk de wand van de cylinder bereiken. Nabij deze wand is de trefplaat (target) opgesteld, die het te bestralen preparaat bevat.

Bij directe bestraling met een deuteronenbundel is het een belangrijk probleem, te voorkomen dat het materiaal smelt en verdampt. Bij de genoemde deeltjesenergie van 30 MeV en de gemiddelde stroomsterkte van 30 μA wordt immers continu een vermogen van 900 watt op de trefplaat in warmte omgezet. Het uiterst hoge vacuum in de doos van het cyclotron maakt, dat merkbare verdamping reeds optreedt bij relatief lage temperaturen, waarbij de dampdruk van het materiaal nog gering is. Bovendien heeft dit vacuum ten gevolge dat geen afkoeling door warmteoverdracht aan omgevende gasmoleculen kan optreden. Men is dan ook in vele gevallen gedwongen de sterkte van de deuteronenbundel opzettelijk te verminderen om beschadiging van de trefplaat te vermijden [9]).

In het geval van alphadeeltjes is de stroomsterkte in het cyclotron in de regel belangrijk kleiner dan in het geval van deuteronen. De koeling van de trefplaat geeft dan natuurlijk minder moeilijkheden, maar juist deze geringe stroomsterkte is de reden dat bestralen met alphadeeltjes minder geschikt is voor het bereiden in het cyclotron van sterk actieve preparaten.

[8]) Philips techn. T. **13**, 269, 1951.

[9]) Deze noodzaak doet het voornaamste voordeel van het klassieke cyclotron boven het synchrocyclotron (nl. de continue deeltjesstroom) voor een groot deel te niet.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het eenvoudigste is natuurlijk als men stoffen moet bestralen die op zichzelf al een zeer hoge temperatuur kunnen verdragen, zoals wolfraam en molybdenium, daar deze door warmteuitstraling voldoende gekoeld kunnen worden. Dergelijke gevallen zijn echter uitzonderingen. Een zeer goede koelmethode, die veel toegepast wordt, bestaat in het vastsolderen van de te bestralen metaalplaat op een door stromend water gekoelde koperen buis. Wegens de hoge temperatuur verdient het aanbeveling hierbij zilversoldeer te gebruiken. Wanneer het solderen zorgvuldig uitgevoerd is, kan de warmteoverdracht zeer goed zijn. Metalen die op deze wijze in het cyclotron bestraald worden, zijn bijv. goud, zilver en platina. Metalen die te bros zijn, zoals mangaan, soldeert men niet direct op de koelbuis vast, maar op een koperen plaatje, dat dan met zilver weer aan de koperen buis wordt bevestigd (*fig. 1*). Laagsmeltende metalen, zoals tin en germanium, laat men over een dergelijk plaatje uitlopen door ze boven hun smeltpunt te verhitten, waarbij òf een gelijkmatig bedekkend laagje gevormd wordt òf alliagevorming optreedt.

De hier beschreven methodes zijn trouwens niet beperkt tot metallische elementen. Sommige metalloïden, die in zuivere toestand veel te vluchtig zouden zijn om in het cyclotron met deuteronen bestraald te worden, kunnen toch als legering met

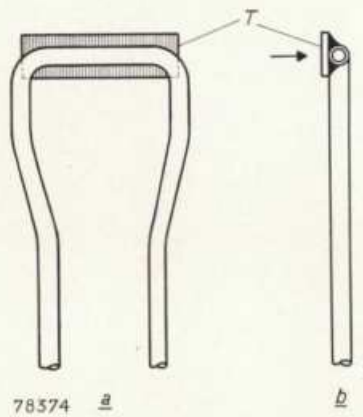

Fig. 1. Trefplaat *T*, gesoldeerd op een koperen koelbuis. *a*) achteraanzicht; *b*) doorsnede; de pijl geeft hierbij de richting van de op de plaat vallende ionenbundel aan.

een of ander metaal in de vorm van plaatjes verkregen en vastgesoldeerd worden. Zo bereidt men in Amsterdam radioactieve fosfor door een plaatje fosforijzer met deuteronen te beschieten. Op analoge wijze kan men voor de bestraling van tellurium een legering van dit element met koper en cobalt gebruiken. Na de activering kan men dergelijke preparaten dikwijls langs mechanische weg scheiden van hun onderlaag voordat een begin gemaakt wordt met de chemische bewerking.

Natuurlijk bestaat er een groot aantal elementen die niet als metaal of als alliage vastgesoldeerd kunnen worden, zoals bijv. alkalimetalen, halogenen en derg. In zulke gevallen is het dikwijls mogelijk het element in kwestie in de vorm van een glasachtige verbinding te verkrijgen. Gelukt dit, dan bedekt men een gekoelde koperen buis met een dun laagje (bijv. 0,5 mm dik) van dit glas, waardoor het warmtecontact zo goed is dat men het preparaat met een flinke stroomsterkte kan bestralen, zonder dat men last heeft van smelten. Een voordeel van dergelijke glasachtige verbindingen is nog dat men ze na afloop der bestraling veelal in water of verdund zuur kan oplossen zonder de als drager fungerende koperen buis ernstig aan te tasten. Dit heeft het grote voordeel dat in het preparaat de sterkte van de radioactiviteit der ongewenste verontreinigingen uit het mede bestraalde koper zeer beperkt wordt. In dit verband moet nog opgemerkt worden dat behalve glasachtige verbindingen ook sommige kristallijne zouten, zoals rubidiumchloride, op een trefplaat van koper gesmolten kunnen worden.

Het zal duidelijk zijn dat er een groot aantal elementen overblijft die noch als glas, noch als element of legering geactiveerd kunnen worden. In dit geval beschikt men nog over een hulpmiddel dat in alle gevallen kan worden toegepast, namelijk de „gaatjestrefplaat". Deze bestaat in haar eenvoudigste vorm uit een metalen blokje dat stevig is vastgesoldeerd aan een met water gekoelde koperen buis. Dicht langs de van de koperen buis afgekeerde rand van het blokje bevindt zich een rij cylindrische gaatjes. Gedurende het vullen ligt het blokje op een goed aansluitende onderlaag, waardoor de gaatjes aan één zijde afgesloten zijn. Het te activeren materiaal, in de vorm van een poeder, wordt dan stevig in de gaatjes vastgestampt. Het gevulde blokje wordt nu in het cyclotron met deuteronen of alphadeeltjes bestraald en na de bestraling wordt het radioactieve poeder met een stevige staaldraad uit de gaatjes geduwd (deze staaldraad is vastgeklemd in een lange houder om verbranding van de huid van de vingers door bêtastralen van het metaalblokje te voorkomen). Men begrijpt dat deze methode voor haast alle niet te vluchtige verbindingen te gebruiken is. Een groot nadeel is echter dat uit de aard der zaak een groot deel van de bundel naast de gaatjes valt, zodat de opbrengst van het gewenste isotoop bij een dergelijke bestraling veel geringer is dan bij bestraling van een trefplaat die geheel uit het gewenste materiaal bestaat. Hoe kleiner de gaatjes

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gemaakt worden, des te kleiner is het rendement, maar des te beter de koeling van het poedervormige materiaal.

In plaats van de verschillende metaalplaatjes aan een gekoelde buis vast te solderen, kan men ze ook vastzetten in een klem, waarvan beide bekken door stromend water gekoeld worden. In deze gevallen is de koeling meestal minder efficient, zodat men met een kleinere stroomsterkte tevreden moet zijn. De methode is echter zo veel gemakkelijker, sneller en goedkoper dan die der vastgesoldeerde blokjes, dat men er meestal de voorkeur aan geeft. Ze wordt zowel bij vastgesoldeerde als bij opgesmolten preparaten gebruikt en vooral ook bij gaatjestrefplaten (*fig. 2*).

Soms gebeurt het dat men bestralingen wenst uit te voeren met deuteronen van kleine energie, daar hierdoor sommige typen van kernreacties uitgesloten worden en dientengevolge bepaalde isotopen in zuivere toestand verkregen kunnen worden, die anders vermengd zijn met andere radioactieve producten. Verschillen van enkele MeV in de energie der opgevangen deeltjes kan men verkrijgen door de afstand van de trefplaat tot het middelpunt van het cyclotron te variëren. Nog grotere energieverschillen zijn te verkrijgen door de deeltjes van de bundel te vertragen in een vóór de trefplaat geplaatst metaalplaatje, waarvoor men meestal koper kiest.

Neutronen ontstaan, zoals boven vermeld, bij alle kernreacties in het cyclotron. Daar echter bij bombardementen met alphadeeltjes de stroomsterkte van de bundel klein is en de reactiekans per ion gering, zal men voor de productie van neutronen liefst van een deuteronenbundel gebruik maken. De aard van de beschoten trefplaat is niet van overwegend belang.

Voor korte activeringen met snelle neutronen past men meestal een vacuumdichte messingbuis toe waarvan de binnenkant open is naar de atmosfeer en die een dikke, met water gekoelde bodem heeft. De zijkant van deze bodem wordt getroffen door de deuteronenstraal, en het te activeren preparaat wordt in een glazen buisje in de messingbuis geschoven. Dit heeft het voordeel dat men het zeer snel weer verwijderen kan. Als men activering door langzame neutronen wil uitsluiten, brengt men in de koperen buis een voering van cadmium aan. Wenst men langdurige bestralingen met snelle neutronen uit te voeren, dan is het economisch het te activeren materiaal in een metalen doosje te pakken en dit dicht bij een preparaat, dat toch met deuteronen gebombardeerd moet worden, aan de houder daarvan vast te maken. Men profiteert dan van de neutronen die onvermijdelijk in deze trefplaat vrijgemaakt worden.

Langzame neutronen verkrijgt men, zoals boven reeds opgemerkt werd, door bij het cyclotron blokken paraffine te plaatsen, waarin de neutronen, die het cyclotron verlaten, vertraagd worden. De intensiteit van deze neutronen is om redenen van geometrische aard altijd klein. Maar daar staat tegenover dat men steeds wanneer het cyclotron werkt, zonder bijzondere moeite of extrakosten over deze langzame neutronen kan beschikken. Bij het Amsterdamse cyclotron zijn dan ook meestal wel enkele activeringen met langzame neutronen aan de gang. Een complicatie is, dat de intensiteit der neutronen bij het cyclotron sterk afhankelijk is van de plaats. Wil men verschillende preparaten

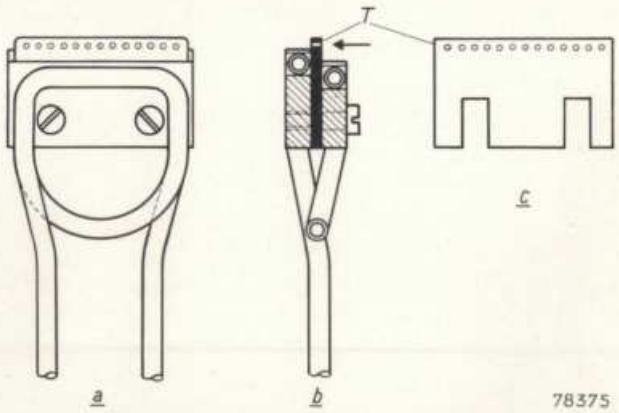

Fig. 2. Gaatjestrefplaat *T*, geklemd tussen de „lussen" van een koperen koelbuis. *a*) vooraanzicht; *b*) doorsnede; *c*) losse trefplaat. Het koelwater stroomt achtereenvolgens door de beide koperblokken, waaruit de klem bestaat. Als men alleen een metaalplaatje wil bestralen om dit zelf te activeren, laat men de buitenrand gelijk komen met het achterste koperblok, omdat op die wijze de beste koeling verkregen wordt. Heeft men echter een gaatjestrefplaat, dan laat men de gaatjes uitsteken buiten het achterste koperblok. Dit dient om het poeder gemakkelijk uit de gaatjes te kunnen stoten, en om te voorkomen dat de inhoud van de gaatjes verontreinigd wordt door het oppervlak van het achterblok van de reeds herhaaldelijk voor een bestraling gebruikte klem.

met een gelijke neutronenstroom activeren, dan moet men daarvoor een roterende paraffinecylinder gebruiken, waarin de verschillende monsters op gelijkwaardige plaatsen aangebracht zijn.

Afscheiding der gevormde radio-isotopen

De bij de toegepaste kernreacties verkregen radioactieve elementen verschillen in de regel chemisch van het gebombardeerde uitgangsmateriaal en kunnen dus met behulp van chemische en/of eenvoudige physische scheidingsmethodes worden geïsoleerd.

Wanneer tijdens de scheiding geen stabiele isotopen van de gevormde radio-isotopen, in de vorm van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zouten, worden toegevoegd, kunnen de radio-isotopen dragervrij, dus in zuivere vorm, worden verkregen. Dit is zeer belangrijk voor een groot aantal toepassingen, waarvan de voornaamste liggen op medisch en biologisch gebied.

Wanneer men bedenkt dat 10^{-6} millicurie van de meeste radio-isotopen nog goed is te meten, ziet men direct welke mogelijkheden dit geeft voor zeer vele toepassingen. Immers, bij het gebruik van radio-isotopen als indicatoren of „tracers" (zie het in [1]) aangehaalde artikel) voor onderzoekingen in de genoemde gebieden, voegt men aan een chemisch of biologisch systeem, bestaande uit een aantal componenten, de radioactieve vorm van een der componenten toe. Het is van groot voordeel als de toegevoegde hoeveelheid „gewichtsloos" is, aangezien dan de concentratie van die component in het systeem niet zal veranderen. Ook zullen eventueel bestaande evenwichten in het systeem niet worden verschoven.

In *tabel II* zijn voor een aantal radio-isotopen met verschillende halveringstijden de gewichten per millicurie (zie formule (2)) samengevat.

Tabel II. Gewicht van radio-isotopen per millicurie.

Isotoop	Halveringstijd	Gewicht in 10^{-6} mg per mc
Na^{22}	2,6 j	160
Na^{24}	15 u	0,115
P^{32}	14 d	3,5
Cr^{51}	26 d	10
Mn^{52}	6 d	2,4
Co^{56}	80 d	35
Co^{60}	5,3 j	880
Zn^{65}	250 d	124
Cs^{137}	33 j	12 500
C^{14}	ca. 6000 j	200 000
Ra^{226}	1550 j	1 000 000

De scheidingsmethodes welke worden gebruikt voor het isoleren van dragervrije of „gewichtsloze" hoeveelheden radio-isotopen, zijn in het algemeen anders dan de normale, in de analytische chemie gebruikte procedures. Ieder radio-isotoop vereist een zeer speciale reeks van handelingen en bewerkingen, waarvan de voornaamste en meest gebruikte zijn: kristallisatie, selectieve reductie, electrolyse, ionenuitwisseling, extractie (zowel vast-vloeistof als vloeistof-vloeistof), destillatie, radiocolloïdevorming, co-precipitatie, papierchromatografie en papierelectrophorese.

Deze methodes blijken nl. ook goed te kunnen worden toegepast op de afscheiding van de „onweegbare" hoeveelheden radio-elementen en hun verbindingen. Dragervrije radio-isotopen in oplossing vertonen door hun uitzonderlijk geringe concentratie dikwijls een zeer afwijkend gedrag vergeleken met dat van oplossingen van macrohoeveelheden van dezelfde elementen. De kleine concentraties, soms van 10^{-15} mol per liter, maken namelijk, dat verschijnselen als adsorptie aan glaswanden, filtreerpapier enz. een grote rol spelen. Daardoor kan het voorkomen dat tijdens een bewerking de gehele hoeveelheid van een radio-isotoop quantitatief aan de wand van een bekerglas gaat zitten en verloren zou gaan, ware het niet dat de Geigerteller direct „ziet" waar de radioactiviteit blijft, zodat maatregelen kunnen worden getroffen voor terugwinning.

Van deze typische eigenschappen wordt o.a. gebruik gemaakt bij scheidingen door middel van co-precipitatie en radiocolloïdevorming.

Zeer belangrijk is verder dat die methodes worden gebruikt welke leiden tot een eindproduct van uitzonderlijke chemische en radiochemische zuiverheid. Dit is goed te verwezenlijken, daar men altijd weet, welke radio-isotopen uit het trefplaatelement door de verschillende kernreacties ontstaan. Hierbij is het natuurlijk noodzakelijk de zuiverheid van het trefplaatmateriaal vooraf nauwkeurig te kennen, zodat ook rekening kan worden gehouden met radio-isotopen welke ontstaan uit verontreinigingen.

Vooral voor biologische en medische toepassingen is het vereist dat de radioactieve preparaten geen andere stabiele of radioactieve elementen bevatten die toxisch (giftig) zijn of door hun afwijkende straling en levensduur ongewenste reacties zouden kunnen veroorzaken. Toevoeging van niet-giftige verbindingen, zoals natriumchloride of natriumcitraat, is eventueel nodig om de oplossingen der radioactieve preparaten dezelfde osmotische druk als de lichaamsvochten te geven (ze isotonisch te maken).

Een algemeen probleem bij de scheidingsmethodes, als ook bij het doen van de onderzoekingen met radio-isotopen, is de bescherming van de werkers tegen de radioactieve straling. Dit is een hoofdstuk op zichzelf, dat in dit bestek niet behandeld kan worden. Er zij alleen vermeld dat men alle chemische of andere manipulaties zo moet uitvoeren dat men zich met alle lichaamsdelen op voldoende afstand van de preparaten bevindt, waartoe veelal speciaal gereedschap ontworpen is; voorts, dat men de apparatuur waarin de preparaten chemisch worden verwerkt, gewoonlijk omgeeft met een muur van blokken lood (fig. 4); ten slotte, dat men gaarne scheidingsmethodes zal aangrijpen die zoveel mogelijk automatisch aflopen. Niet onvermeld dient ook te blijven dat in sommige gevallen, als het af te scheiden radio-isotoop een zeer korte

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

halveringstijd heeft, de snelheid van de scheiding een belangrijk criterium voor de keuze der methode kan zijn.

Met een aantal regelmatig in het Isotopenlaboratorium te Amsterdam gebruikte productiemethodes als voorbeeld zullen nu de voornoemde speciale scheidingstechnieken nader worden behandeld.

Kristallisatie wordt dikwijls gebruikt om het overgrote deel van het trefplaatmateriaal te verwijderen vóór de uiteindelijke zuivering van het gewenste radio-isotoop. Een aantal metaalchlorides en -nitraten zijn onoplosbaar in geconcentreerd zoutzuur resp. salpeterzuur. Zo kan bijv. Rb^{86} gemakkelijk van bestraald strontium worden gescheiden door eerst het grootste deel van het strontium, na oplossen in HNO_3, met geconcentreerd HNO_3 te verwijderen als kristallijn $Sr(NO_3)_2$.

Vooral echter wordt deze methode gebruikt om het kortlevende dragervrije Na^{24} van bestraald aluminium te scheiden. De Al-trefplaat wordt daartoe opgelost in zo weinig mogelijk 8n HCl, waarna $AlCl_3 \cdot 6aq$ kristallijn kan worden neergeslagen door inleiden van HCl-gas bij 0 °C. Daar „gewichtsloze" hoeveelheden NaCl niet neerslaan, komt alle activiteit in het filtraat, hetwelk daarna eenvoudig verder is te zuiveren.

Een veel snellere en handigere methode is echter, het aluminium als $Al(NO_3)_3 \cdot 9aq$ te laten kristalliseren met behulp van 90% HNO_3. Het neerslag is zeer snel te filtreren en alle Na^{24}-activiteit komt quantitatief in het filtraat met slechts 10-50 mg aluminium. Met behulp van een ionenuitwisselaar kan het Na^{24} daarna verder worden gezuiverd. Scheiding door precipitatie van $Al_2(SO_4)_3$ in geconcentreerd H_2SO_4 is niet mogelijk, daar het dragervrije Na_2SO_4 zich quantitatief in het neerslag bevindt, waarschijnlijk als dubbelzout.

Selectieve reductie berust op de eigenschap van metalen, andere metalen welke hoger staan in de zg. „spanningsreeks" uit de oplossingen van hun zouten te verdringen, zoals bijv:.

$$Zn + CuSO_4 \rightarrow ZnSO_4 + Cu.$$

Ook hiermede is het mogelijk het trefplaatmateriaal geheel of bijna geheel te verwijderen, voordat verdere zuivering plaats vindt. Hierbij moet natuurlijk voor de reductie een element worden gekozen dat door eenvoudige handelingen gemakkelijk van het gewenste isotoop is te scheiden.

De methode wordt toegepast voor de isolering van Mn^{52} uit gebombardeerd chroom en die van Cd^{109} uit zilver. In het eerste geval wordt de chroomtrefplaat opgelost in zoutzuur, de oplossing geneutraliseerd tot $p_H = 3$ en daarna ca. 20 minuten gekookt met een grote overmaat zinkpoeder. Het chroom wordt hierdoor tot metaal gereduceerd, terwijl het mangaan quantitatief in oplossing blijft.

In het tweede geval wordt de zilvertrefplaat opgelost in HNO_3, de oplossing geneutraliseerd tot $p_H = 3$ en vervolgens 10-15 minuten gekookt met een overmaat tinpoeder. Het zilver slaat quantitatief neer en het Cd^{109} blijft in oplossing.

In beide gevallen worden de isotopen verder gezuiverd door ferrizout aan de oplossing toe te voegen en vervolgens de oplossing sterk alkalisch te maken, waardoor zink en tin als zinkaat en stanniet in oplossing gaan, terwijl Mn^{52} en Cd^{109} quantitatief co-precipiteren met het $Fe(OH)_3$-neerslag. Dit wordt na filtreren en wassen weer opgelost in 8n HCl, waarna $FeCl_3$ door extractie met isopropylaether wordt verwijderd.

Ionenuitwisselaars zijn een zeer belangrijk hulpmiddel geworden voor scheiding van zelfs gecompliceerde mengsels van elementen. Soms is het de enige mogelijkheid, zoals voor de scheiding van de zeldzame aardmetalen.

Er zijn twee typen, nl. kation- en anionuitwisselaars. De laatste kunnen zeer goed gebruikt worden voor scheiding van die elementen welke de eigenschap hebben stabiele complexen te vormen.

Kationuitwisselaars worden o.a. gebruikt voor de isolering van Na^{22} uit bestraald magnesium en Rb^{86} uit bestraald strontium. In het laatste geval wordt eerst de overmaat strontium verwijderd door precipitatie van $Sr(NO_3)_2$ met geconcentreerd salpeterzuur. Daarna wordt het eveneens gevormde actieve yttrium Y^{88} verwijderd door co-precipitatie met $Fe(OH)_3$.

In beide gevallen wordt vervolgens een zo neutraal mogelijke oplossing langzaam door een kolom Dowex-50 hars in zure vorm gevoerd, die de kationen in de bovenste laag adsorbeert. Daarna worden Na^{22} resp. Rb^{86} langzaam met 0,2n HCl geëlueerd. Mg, Sr en eventuele andere 2- of 3-waardige ionen blijven in de kolom achter.

Ook een directe en tamelijk snelle scheiding van het kortlevende Na^{24} van bestraald aluminium is volgens deze methode mogelijk (*fig. 3*). Daartoe wordt de Al-trefplaat opgelost in zo weinig mogelijk 8n HCl, de oplossing verdund tot ca. 0,2n en vervolgens gevoerd door een ca. 60 cm lange en 2,5 cm dikke kolom Dowex-50 hars in zure vorm met een snelheid van 3-5 ml/minuut. Direct daarna wordt 0,5n HCl met dezelfde snelheid door de kolom gevoerd. Wanneer nu ca. 200 ml is opgevangen, begint Na^{24}-activiteit uit de kolom te komen. Daarna zijn ca. 500 ml nodig om 98% van het Na^{24} te

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

elueren. Alle aluminium (ca. 2 gram) en sporen verontreinigingen, zoals Fe en radioactief cobalt en mangaan, blijven in de hars achter.

Anionuitwisselaars worden toegepast voor de directe scheiding van Fe^{59} uit bestraald cobalt en Fe^{55} uit bestraald mangaan. Wanneer nl. een oplossing van cobaltchloride of mangaanchloride + Fe^{55}-chloride in 9n HCl door een Dowex-2 anionkolom, welke tevoren met 9n HCl is behandeld, wordt gevoerd met een snelheid van 0,3 ml/minuut, wordt het Fe^{59} en een gedeelte van het cobalt of

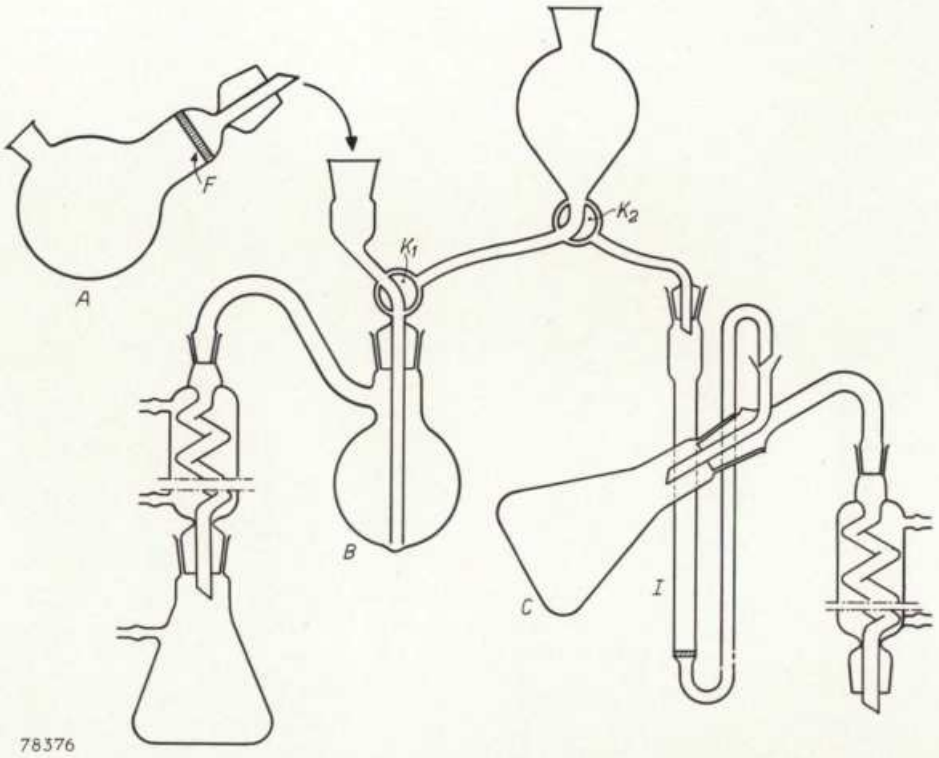

Fig. 3. Apparaat voor het scheiden van Na^{24} van Al volgens het in de tekst beschreven proces. *A* precipitatie- en filtratiekolf, *F* glasfilter, *B* afdamp- en verdunningskolf, *I* ionenuitwisselaar, *C* verwarmde, draaiende indampkolf, K_1 en K_2 driewegkranen.

het Fe^{55} door de hars vastgehouden als complex $FeCl_4$- en $CoCl_3$-ion. Mangaan vertoont deze eigenschap niet. Voert men vervolgens 3 tot 5n HCl door de kolom met een snelheid van 0,3 ml/minuut, dan breekt het cobaltchloridecomplex en wordt $CoCl_2$ geëlueerd. Het Fe-chloridecomplex is veel stabieler en blijft boven in de kolom zitten. Fe^{59} resp. Fe^{55} kunnen daarna zeer zuiver als $FeCl_3$ worden geëlueerd, door de kolom uit te spoelen met verdund HCl of water. Deze methode levert ook voor andere scheidingen goede mogelijkheden, vooral wanneer het mogelijk is het gewenste isotoop als kation-, de andere elementen als anioncomplexen te verkrijgen.

Extractie van metalen als complexverbindingen of als metaal-organische verbindingen uit een waterige oplossing door middel van een met water niet mengbaar organisch oplosmiddel, is een van de meest gebruikte en aangenaamste methodes voor snelle isolering van radio-isotopen. Men kan hiermede meestal direct en zeer selectief een bepaald radio-element uit een mengsel afscheiden. Ook is het mogelijk langs deze weg eerst de weegbare hoeveelheden trefplaatmateriaal te verwijderen, zodat het radio-isotoop in de waterlaag achterblijft.

Verder past men extractie toe om inactieve „drager"-elementen, die men heeft gebruikt om het gewenste isotoop door co-precipitatie te isoleren, weer te verwijderen.

Door gebruik te maken van een zg. „vibratie-roerder" kunnen extracties worden versneld en bovendien geheel automatisch worden uitgevoerd (*fig. 4*), zodat het gevaar van de straling kan worden geëlimineerd (zie boven). Dit apparaat maakt nl. van de twee niet mengbare vloeistoffen in de scheitrechter in minder dan één minuut een soort emulsie, waardoor een enorm groot aanrakingsoppervlak wordt verkregen. Ontmenging treedt daarna in de meeste gevallen weer snel op.

Zo worden Ga^{66} en Ga^{67} direct geïsoleerd uit bestraald zink, door dit op te lossen in 8n HCl en de oplossing te extraheren met isopropylaether. $GaCl_3$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gaat quantitatief in de aetherlaag over. Zink, Cu^{64}, Cu^{66} en Co^{58} blijven in de waterlaag. Na uitwassen van de aetherlaag met 8n HCl kan het radiogallium met weinig water weer worden teruggeëxtraheerd.

Radiogoud, ijzer en enkele andere elementen kunnen eveneens op deze manier worden geëxtraheerd uit een zoutzuur milieu.

IJzer, in de vorm van hydroxyde, wordt vaak gebruikt voor co-precipitatie van een aantal dragervrije radio-isotopen. Door het $Fe(OH)_3$-neerslag weer op te lossen in 8n HCl en deze oplossing te extraheren met isopropylaether, kan het ferri-ion weer worden verwijderd.

Verder is het mogelijk sommige nitraten met aether uit salpeterzure oplossingen te extraheren.

Radioactief chroom, Cr^{51}, is in de vorm van $Na_2Cr_2O_7$ van vanadaat te scheiden door de zoutzure oplossing te extraheren met methylisobutylketon.

Een andere extractiemethode voor chroom is die waarbij een zwavelzure oplossing van chromaat en vanadaat wordt geëxtraheerd met amylalcohol na toevoeging van H_2O_2. Hierdoor ontstaat nl. het blauwe perchromaat, dat quantitatief door amylalcohol wordt opgenomen en daarin stabiel is. De methode faalt om onverklaarbare redenen echter volkomen wanneer het radiochroom dragervrij is.

Extractie van een metaal-organische verbinding wordt o.a. toegepast bij de isolering van Zn^{65} uit bestraald koper, als dithizonaat in chloroform in alkalisch milieu, Co^{58} uit bestraald zink, als rhodanide in amylacohol in zwak zuur milieu, en Fe^{59} uit bestraald cobalt, als acetylacetonaat (of een ander β-diketonaat) in xylol, eveneens in zwak zuur milieu.

Het is vooral met deze, ook in de normale analytische chemie dikwijls toegepaste, extracties van metaal-organische complexen mogelijk de grote overmaat van niet-gewenst trefplaatmateriaal vooraf grotendeels te verwijderen zonder verlies van de gewenste radio-isotopen.

Door middel van *electrolyse* kan een aantal radio-elementen direct en zuiver worden geïsoleerd. Dit

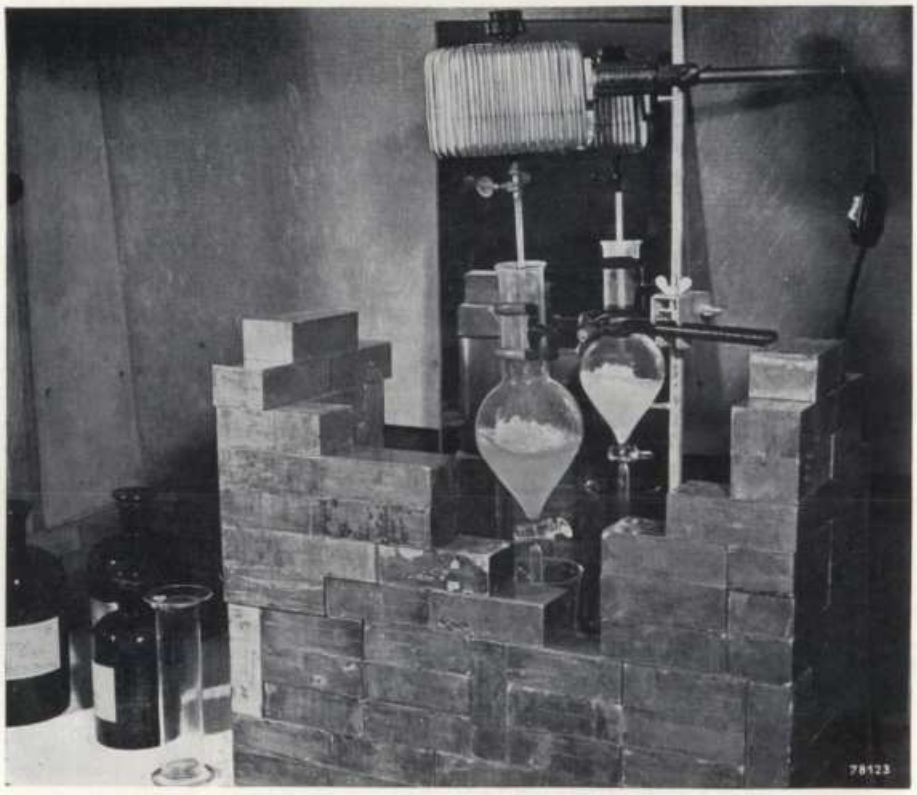

Fig. 4. Uitvoering van een extractie. De niet mengbare vloeistoffen, waarvan er een het af te scheiden radio-isotoop in oplossing bevat, worden in een scheitrechter geëmulgeerd door een vibratieroerder, waardoor de snelheid van het proces wordt bevorderd. Onder de scheitrechter ziet men het bekerglas waarin, na ontmenging, een van de vloeistoffen wordt opgevangen. Ter beveiliging van de werkers tegen de radioactieve straling is een muur van loden blokken voor de apparatuur gebouwd, terwijl, om het verloop van het proces desondanks gemakkelijk te kunnen gadeslaan, een spiegel erachter is geplaatst. Voor het maken van deze foto werden een aantal blokken weggenomen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

wordt o.a. toegepast bij de productie van dragervrij Cu^{64} uit bestraald zink, nadat eerst het zeer actieve radiogallium door extractie is verwijderd. Ook $Co^{56,57}$ kan door electrolyse van gebombardeerd ijzer en het tevens ontstane Mn^{54} worden gescheiden, nadat de overmaat ijzer door extractie is verwijderd. Het eigenaardige hierbij is echter dat na electrolyse op platina-electrodes slechts ongeveer 95% van het dragervrije $Co^{56,57}$ door zoutzuur weer in oplossing is te brengen; 5% hecht zeer vast aan de electrode en is alleen door anodisch oplossen te verwijderen, waarbij echter ook iets platina in oplossing gaat.

Electrolyse is ook de aangewezen methode om de overmaat koper te verwijderen van een koperen trefplaat die bestraald is voor de productie van Zn^{65}. Voor sommige scheidingen kan ook gebruik gemaakt worden van een kwikelectrode, waarbij het gewenste radio-isotoop oplost. Het kwik kan dan naderhand worden verwijderd door destillatie in vacuum.

Een aantal elementen hebben onder bepaalde omstandigheden vluchtige verbindingen, die door *verdamping* of *destillatie* uit hun oorspronkelijke milieu zijn af te scheiden. Bekende voorbeelden hiervan zijn osmiumoxyde, OsO_4, en ruthenium-oxyde, RuO_4, die resp. uit oplossingen in geconcentreerd salpeterzuur en perchloorzuur door destillatie kunnen worden geïsoleerd. Dragervrije radio-isotopen gedragen zich hierbij identiek met macrohoeveelheden van de elementen.

Zo kan ook As^{74} zeer zuiver worden gescheiden van bestraald germanium. Tevoren moet echter een spoor gewoon arsenicum worden toegevoegd, daar anders het As^{74} door adsorptie aan glas verloren gaat. Het As^{74} wordt verder eerst van germanium en radiogallium gescheiden door het tweemaal als arsenaat te laten co-precipiteren met een flinke hoeveelheid $MgNH_4PO_4$. Daarna wordt het $AsCl_3$ uit een reducerend zoutzuur milieu afgedestilleerd en opgevangen in een oxyderend zuur milieu. Daardoor gaat het over in 5-waardig arsenicum, waarna de oplossing zonder verlies van As^{74} kan worden ingedampt tot een klein volume.

Ook germanium-, selenium- en tin-isotopen kunnen door destillatie uit HCl- of HBr-oplossing snel en in klein volume worden geïsoleerd.

Co-precipitatie is een van de meest gebruikte handelingen bij zeer vele isoleringen van radio-isotopen. Zij berust op het feit dat zeer kleine hoeveelheden radio-elementen dikwijls quantitatief en selectief meegaan, wanneer een niet-radioactief element als onoplosbare verbinding in macrohoeveelheden wordt neergeslagen uit een oplossing.

Min of meer triviaal is de ware of isomorphe co-precipitatie, zoals die van radiostrontium-ionen met calcium- of bariumzouten, of van radiojodide-ionen met zilverchloride, of van radioarsenaat-ionen met $MgNH_4PO_4$, enz. Meestal kan daarna een goede scheiding van de chemisch op elkaar gelijkende ionen worden verkregen met behulp van ionenuitwisselaars of, zoals in het laatste geval, door destillatie. Soms echter is een scheiding zeer moeilijk of te omslachtig.

Daarom wordt meestal gebruik gemaakt van het feit dat zeer kleine hoeveelheden radio-elementen vaak een sterke adsorptie vertonen aan stoffen met zeer grote oppervlakken. Zo is $Fe(OH)_3$, gevormd in oplossingen van bepaalde radio-elementen die in weegbare hoeveelheden onder dezelfde omstandigheden moeilijk oplosbare hydroxydes zouden vormen, een buitengewoon geschikt adsorbens voor deze radio-elementen. Het geprecipiteerde of gefiltreerde en uitgewassen $Fe(OH)_3$ kan dan vervolgens door extractie met isopropylaether worden verwijderd.

Dit wordt steeds toegepast bij de uiteindelijke zuivering van Mn^{52}, Mn^{54} en Cd^{109} uit resp. bestraald chroom, ijzer en zilver, en bij de directe isolering van Y^{88} en In^{114} resp. uit gebombardeerd strontium en cadmium.

Radiocolloïdevorming treedt op bij radioactieve elementen die onder normale omstandigheden in macrohoeveelheden onoplosbare verbindingen zouden vormen, zoals de meeste hydroxydes. Deze radiocolloïdes hebben, zoals reeds eerder vermeld, de eigenschap sterk aan oppervlakken van verschillende materialen, zoals glas of filtreerpapier, te worden geadsorbeerd.

Hiervan nu wordt gebruik gemaakt bij de isolering van Be^7 uit bestraald $LiBO_2$, van Mg^{27} uit aluminium en van Bi^{206} uit lood. In het eerste geval wordt het trefplaatmateriaal opgelost in water, waarna de alkalisch reagerende oplossing door een filter van gesinterd glas wordt gezogen. In het tweede geval wordt het aluminium in loog opgelost en de oplossing door filtreerpapier gezogen. In het derde geval wordt het lood opgelost in salpeterzuur en deze oplossing uitgegoten in overmaat loog. De verkregen plumbaatoplossing wordt dan door filtreerpapier gezogen.

De radiocolloïdes van Be^7, Mg^{27} en Bi^{206} blijven bij deze handelingen voor 95 tot 100% aan het glasfilter, resp. filtreerpapier, geadsorbeerd. Hieruit zijn ze dan weer te verwijderen door behandeling van de filters met enkele druppels zoutzuur en nawassen met een weinig water.

Ten slotte zal voor de scheiding van enkele dragervrije radio-isotopen, welker scheiding of

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zuivering op andere manieren nog moeilijkheden oplevert, de *papierchromatografie* en vooral de *papierelectrophorese* (*fig. 5*) een elegante en zeer selectieve methode worden.

Men kan bijv. een oplossing van dragervrije radio-elementen tezamen met een wasvloeistof, bestaande uit een verdunde oplossing van zoutzuur of melkzuur, laten druppelen in het midden van de bovenzijde van een met de wasvloeistof behandeld vel filtreerpapier. Dit filtreerpapier is geklemd tussen twee glasplaten, zodat de neerdalende oplossingen door en niet langs het papier kunnen vloeien. Aan de zijkanten van het vel zijn over de gehele lengte electrodes aangebracht, waartussen een zeker spanningsverschil bestaat. De ionen worden nu niet alleen met verschillende snelheid naar beneden gevoerd, doch tevens door het aangebrachte electrische veld in verschillende mate naar links of rechts getrokken. Hierdoor is het mogelijk onderaan het systeem de gescheiden en zeer zuivere radio-isotopen ieder op een andere plaats op te vangen. Het grote voordeel is dat het gehele systeem continu en automatisch kan werken.

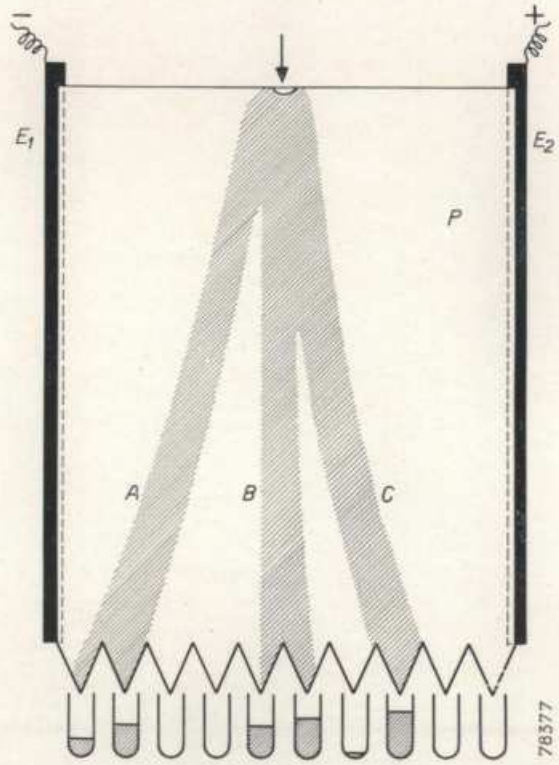

Fig. 5. Uitvoering van de papierelectrophorese als continu proces. Het filtreerpapier P is verticaal uitgespannen tussen twee electrodes E_1, E_2. De diverse ionen (A, B, C) worden boven als mengsel toegevoerd en onder gescheiden afgetapt.

Met behulp van de gewone papierchromatografie, en wel de zg. „opstijgende" modificatie, gelukt het goed een zeer scherpe scheiding te verkrijgen van het mengsel $Fe^{55,59}$, $Co^{56,57}$ en Mn^{54}.

Samenvatting. Na een inleiding, waarin enkele bekende feiten betreffende kernreacties in herinnering worden gebracht, worden de verschillende productiemethodes van radio-isotopen met elkaar vergeleken. Daarna wordt uitvoeriger ingegaan op de kernreacties die regelmatig met het Amsterdamse synchrocyclotron worden uitgevoerd. Er wordt een overzicht gegeven van de sterkte van een aantal der verkregen preparaten. Enige bijzonderheden worden meegedeeld over de in Amsterdam gebruikte constructies van de trefplaat (target). Ten slotte wordt uitvoerig ingegaan op de diverse scheidingsmethodes welke worden toegepast teneinde de verkregen isotopen in zuivere toestand te verkrijgen.

DRAADLOZE BESTURING VAN MODELLEN

door A. H. BRUINSMA. 621.398

Het is een (door velen betreurd) feit dat bij de constructie van kinderspeelgoed zeer vaak oorlogswerktuigen worden nagebootst. In de oorlog 1940-45 heeft men het omgekeerde zien gebeuren: een aardig technisch speelgoed — de draadloze besturing op afstand — werd ontwikkeld tot een hulpmiddel in allerlei wapens. De aldus voortgeschreden techniek komt nu weer te pas in nog fraaier speelgoed, maar ook voor serieuze vreedzame doeleinden.

Het idee om toestellen op afstand te bedienen door middel van electromagnetische golven is reeds ongeveer zo oud als de radio-omroep. Al 25 jaar geleden moeten er draadloos bestuurde bootjes hebben gevaren. De ontwikkeling van deze techniek ging echter slechts langzaam, door diverse oorzaken; een grote moeilijkheid was bijv. de voeding van de destijds bestaande, oneconomisch werkende, buizen. Men gebruikte dan ook hoofdzakelijk superregeneratieve ontvangers, waarvoor slechts een gering aantal buizen vereist is. Voor het geven van verschillende „commando's" werd een stappenschakelaar gebruikt, waardoor men uiteraard slechts één commando gelijktijdig kon overbrengen, wat de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

soepelheid in de bediening zeer beperkte. Bleef deze techniek aldus aanvankelijk in het amateurstadium hangen, de mogelijkheden van militaire toepassingen deden haar tijdens en na de tweede wereldoorlog een grote vlucht nemen. Hiertoe heeft ook bijgedragen de ontsluiting van de hogere-frequentiegebieden, waardoor de antenneproblemen eenvoudiger werden. Zo kwamen er de draadloos bestuurbare projectielen, tanks en motorboten, waarbij de techniek der draadloze besturing een hoogtepunt van verfijning en betrouwbaarheid bereikte.

Ook voor niet-militaire doeleinden wordt echter deze tak der techniek steeds belangrijker. Zo kan bijv. een vliegtuigfabriek een groot voordeel hebben bij het beproeven van nieuwe modellen aan de hand van een draadloos bestuurd prototype. Verder kunnen mensenlevens, tijd en geld gespaard worden door bij het vliegonderwijs de nieuwe piloten langs draadloze weg onbemande vliegtuigen te laten besturen. Het wetenschappelijk onderzoek van de ionosfeer met bestuurbare raketten is nog een andere toepassingsmogelijkheid, terwijl ook het draadloos bedienen van technisch speelgoed — de oudste loot aan de stam van deze techniek — een bloeitijdperk beleeft.

Op het laatstgenoemde terrein worden thans veel betere mogelijkheden geboden dan vroeger door de tegenwoordig beschikbare kleine radiobuizen voor batterijvoeding, die met relatief geringe vermogens kunnen volstaan. Om deze mogelijkheden te onderzoeken, hebben wij twee schakelingen ontwikkeld, die zijn ingebouwd in bestuurbare modellen. Om practische redenen werd voor de uitvoering dezer modellen de vorm van een boot gekozen.

Fig. 1. De twee draadloos bestuurde boten tijdens een demonstratie. Links in de „haven" de boot met het tweekanalensysteem, rechts die met het achtkanalensysteem (waarbij juist het vliegtuigje aan boord wordt gehesen).

Opzet van de modellen

Indien aan de manoeuvreerbaarheid van het model hoge eisen worden gesteld, komt de wenselijkheid naar voren om bepaalde handelingen zonder tijdverlies, of wel enkele handelingen gelijktijdig, te kunnen uitvoeren. Met een stappenschakelaar kan dit uiteraard niet worden gerealiseerd. Het wordt echter wel mogelijk als men ervoor zorgt dat, zoals tegenwoordig in de telecommunicatietechniek schering en inslag is, de zend- en ontvanginstallatie over verschillende onafhankelijke kanalen beschikt.

De beide ontwikkelde schakelingen zijn:

a) Een eenvoudig systeem met amplitudemodulatie en twee onafhankelijke kanalen.

b) Een systeem met impulsmodulatie, dat over

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

acht onafhankelijke kanalen beschikt. Bij dit systeem zou door een combinatie met amplitudemodulatie het aantal kanalen nog gemakkelijk met een factor drie kunnen worden vergroot. Dit laatste is echter niet verder onderzocht, daar bij het voor ogen staande doel het aantal van acht kanalen ruimschoots voldoende was.

Fig. 1 toont de beide draadloos bestuurbare bootjes tijdens een demonstratie. Links bevindt zich het kleine model met het eenvoudige systeem voor amplitudemodulatie, terwijl de rechter boot is uitgerust met het systeem voor impulsmodulatie. De frequentie van beide zenders bedraagt 100 MHz. Deze frequentie werd in hoofdzaak bepaald door twee overwegingen: enerzijds is zij zo hoog mogelijk gekozen om met kleine, handelbare antennes te kunnen werken, anderzijds werd hieraan een grens gesteld doordat de buizen voor batterijvoeding, waarmede de ontvangers zijn uitgerust, signalen met nog hogere frequenties dan de genoemde niet meer voldoende versterken.

De zenders, waarbij het energieverbruik geen factor van betekenis is, zijn ingericht voor voeding uit een wisselstroomnet. Het vermogen dat wordt uitgezonden, bedraagt ongeveer $^1/_4$ W, wat voor ons doel reeds voldoende was.

Wij zullen thans van de beide bootmodellen en de bijbehorende zenders een korte beschrijving geven [1]).

Het electronisch „besturen" op zichzelf, dus het doen geschieden van allerlei bewegingen door middel van — al dan niet draadloos overgebrachte — signalen, wordt hier slechts zeer terloops behandeld. Op dit gebied zijn in het laatste decennium ware triomfen gevierd. Men denke slechts aan de bediening op afstand van apparaten bij de fabricage in het groot van radioactieve stoffen. Een sprekend voorbeeld hiervan is ook een onlangs geconstrueerde freesmachine die geheel electronisch wordt bestuurd [2]). In dit artikel beperken wij ons in hoofdzaak tot een korte beschrijving van het radiogedeelte van de apparatuur die in de beide modelboten is gebruikt.

Het tweekanalensysteem met amplitudemodulatie

De boot die wordt gebruikt voor demonstratie van het tweekanalensysteem van draadloze besturing, is voorzien van twee motoren, nl. één voor aandrijving van de schroef en één waarmede het roer wordt versteld. De bediening van deze motoren geschiedt op de volgende wijze.

De voortstuwingsmotor loopt wanneer de draaggolf door de zender wordt uitgezonden; wordt de oscillator van de zender uitgeschakeld, dan komt deze motor tot stilstand. De zenderspanning kan worden gemoduleerd met een frequentie van 50 Hz. De modulatie geschiedt in de eindtrap. Het al of niet aanwezig zijn van deze modulatie bepaalt de draairichting van de motor. De boot kan dus zowel vooruit als achteruit varen. In *fig. 2*, die een blokschema van de zender voorstelt, zijn de schakelaars voor het in- en uitschakelen van de zender en van de 50-hertzmodulatie door S_1 en S_2 voorgesteld.

Behalve de modulatie met een frequentie van 50 Hz, die naar verkiezing kan worden ingeschakeld, is de draaggolf ook gemoduleerd met een frequentie van 2000 Hz. De hiertoe nodige spanning wordt geleverd door de oscillator O_2 via de versterker A. Deze modulatie kan niet willekeurig worden uitgeschakeld, doch wordt door de multivibrator M periodiek onderbroken met een frequentie van ongeveer 5 Hz. De verhouding van de tijden gedurende welke de laatstgenoemde modulatie wèl of niet aanwezig is, is instelbaar. Deze verhouding bepaalt de draairichting van de roermotor.

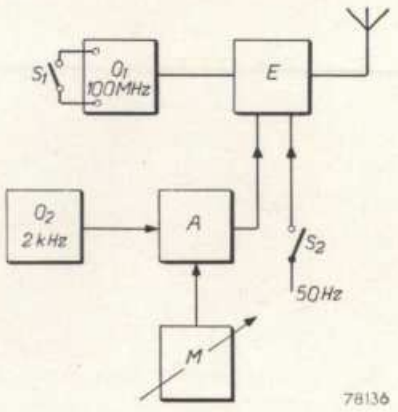

Fig. 2. Blokschema van de zender die wordt gebruikt voor het tweekanalensysteem met amplitudemodulatie. O_1 en O_2 oscillatoren, E eindtrap, A versterker, M multivibrator. De verschillende schakelmanipulaties worden uitgevoerd met behulp van de schakelaar S_1 (motoren in of uit), de multivibrator M (verstellen van het roer) en de schakelaar S_2 (draairichting van de schroef).

Zijn de beide tijden gelijk, dan is deze motor, dus ook het roer, in rust. Wordt de multivibrator zodanig ingesteld dat de modulatiespanning gedurende een langere tijd is ingeschakeld dan uitgeschakeld, dan draait de motor in een bepaalde richting; wordt de modulatie daarentegen gedurende meer dan de helft van de tijd onderbroken, dan keert de draairichting om. Wordt de oscillator van de zender uitgeschakeld, waardoor de voortstuwingsmotor tot

[1]) Voor een uitvoeriger beschrijving verwijzen wij naar het boekje „Radiografische afstandsbediening" door A. H. Bruinsma, dat is verschenen in de populaire reeks van de Philips' Technische Bibliotheek.

[2]) Zie: Electronics **25**, Nov. 1952, p. 172.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

stilstand komt, dan wordt ook de roermotor uitgeschakeld. De stand van het roer is zichtbaar doordat dit is gekoppeld met een op het achterschip geplaatste „vlag".

De in de boot aanwezige superheterodyne-ontvanger bevat 7 buizen, alle van het direct-verhitte type voor batterijvoeding (typenummers DK 40, 2 × DL 41, DAF 91, DF 91, 2 × DL 92). Het totale gloeistroomverbruik bedraagt 100 mA bij een spanning van 8 V, terwijl een anodespanning van 100 V bij een stroomverbruik van maximaal 25 mA nodig is. Het totale vermogen dat voor de ontvanger „aan boord" wordt vereist, bedraagt dus 3,3 W.

Zowel voor de voortstuwing als voor de instelling van het roer wordt een kleine motor gebruikt uit het scheerapparaat „Philishave", waarvan het anker en de veldwikkelingen afhankelijk van de draairichting in serie of parallel worden geschakeld [3]). Bij serieschakeling werkt een dergelijke motor nog bevredigend met een gelijkspanning van 60 V en een aanloopstroom van 75 mA, terwijl bij parallelschakeling een spanning van 30 V en een aanloopstroom van 130 mA nodig is. Afhankelijk van de belasting dalen deze stromen na het aanlopen tot op de helft à drievierde gedeelte van de genoemde bedragen.

Voor de voeding van de ontvanger zowel als van de beide motoren zijn in de boot 25 zaklantaarnbatterijen van het alom verkrijgbare type ondergebracht. Hiermede kan de installatie enige uren werken zonder vervanging van de batterijen.

Fig. 3 toont de boot met afgenomen bovengedeelte, waardoor de ontvanger, de batterijen en de motoren met bijbehorende relais te zien zijn. Links op de voorgrond is de zender geplaatst, waaraan o.a. de drie bedieningsknoppen zijn te onderscheiden.

De lengte van de boot is 1,45 m en het gewicht is 12 kg. De ontvanger, de twee motoren en de relais wegen tezamen slechts 1,7 kg, het chassis met de batterijen daarentegen 4 kg. Hieruit kan men afleiden dat de afmetingen nog aanzienlijk kleiner gemaakt kunnen worden indien men met een kleinere levensduur van de voedingsbron genoegen neemt.

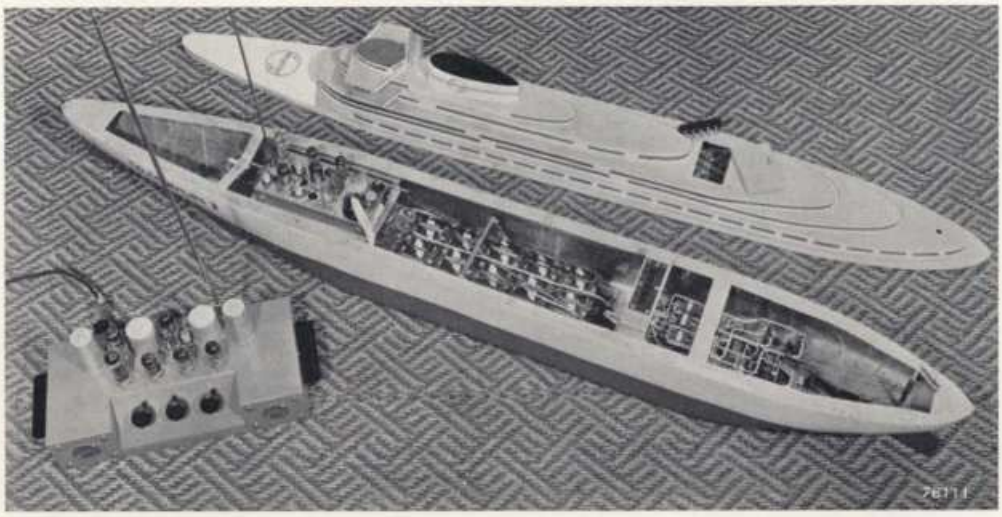

Fig. 3. De demonstratieboot met het tweekanalensysteem, met afgenomen bovengedeelte. Op de voorgrond bevindt zich de hierbij behorende zender.

Het achtkanalensysteem met impulsmodulatie

De boot die voor demonstratie van het achtkanalensysteem wordt gebruikt, is voorzien van twee schroeven, waardoor in samenwerking met het roer een goede wendbaarheid, ook bij een geringe snelheid, is verkregen. Verder is deze boot uitgerust met een katapultinstallatie, die een vliegtuigje kan afschieten, terwijl dit vliegtuigje door een hijskraan weer aan boord kan worden gehesen. Bovendien kunnen vier reddingsboten worden gestreken en opgehaald, terwijl ten slotte door een onder het voordek aangebrachte luidspreker geluid kan worden weergegeven (een imitatie van een stoomfluit of eventueel muziek). Dit geluid wordt van „de wal" af via één der kanalen overgebracht. (Dit kanaal kan men dus eigenlijk niet tot de draadloze besturing rekenen.)

De functies van de overige kanalen, 2-7, zijn als volgt:

2. De bediening van de linkerschroef.
3. De bediening van de rechterschroef.

[3]) De „Philishave" motor is eigenlijk een seriemotor.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

4. De bediening van het roer.
5. Het strijken en ophalen van de reddingsboten.
6. Het draaien van de hijskraan.
7. De bediening van de hijskabel.
8. De bediening van de katapultinstallatie.

Van het principe van impulsmodulatie en de wijze waarop hiermede gelijktijdig een aantal informaties kan worden overgebracht, werd reeds eerder in dit tijdschrift een beschrijving gegeven [4]). We volstaan dan ook hier met de vermelding dat modulatie van de impulshoogte is toegepast. Hierbij is de sterkte van de impulsen die tot het geluidskanaal behoren, continu variabel. Bij de andere kanalen, die schakelkanalen zijn, is het slechts nodig de sterkte der impulsen tussen twee waarden te variëren, nl. nul en een bepaald maximaal bedrag, overeenkomende met de condities „in" en „uit". De repeteerfrequentie van de impulsen bedraagt 10 kHz, terwijl de tijdsduur der impulsen 11,1 μsec is.

In *fig. 4* is een blokschema weergegeven van de zender. Hierin is met de letters *a-h* de keten van

Aan de kanaalvensterbuis *I*, die behoort tot het geluidskanaal, wordt een laagfrequente spanning toegevoerd via de versterker *A*. De besturing van de motoren voor de aandrijving van de schroeven en voor het verstellen van het roer geschiedt op dezelfde wijze als die van de roermotor bij het hiervoor reeds beschreven amplitudemodulatiesysteem. Hiertoe worden de kanaalvensterbuizen *II*, *III* en *IV* gestuurd door de multivibratoren M_1, M_2 en M_3, die met een frequentie van ongeveer 5 Hz het uitzenden van impulsen onderbreken. De verhouding van de tijden gedurende welke de tot het betreffende kanaal behorende impulsen wèl of niet worden uitgezonden, bepaalt de draairichting van de motor. De verhouding van deze tijden is aan de multivibratoren instelbaar.

De motoren die worden bestuurd door de overige vier kanalen, behoeven slechts te worden in-, om- en uitgeschakeld [5]), wat kan geschieden door het „openen" en „sluiten" van de kanaalvensterbuizen *V-VIII* (schakelaars S_1-S_4). Voor de bediening van

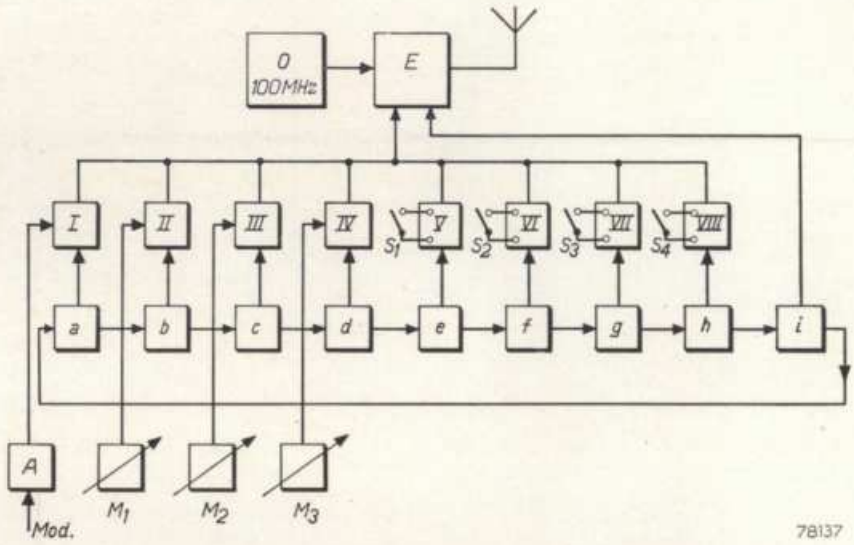

Fig. 4. Blokschema van de zender die wordt gebruikt voor het achtkanalensysteem met impulsmodulatie. *O* oscillator; *E* eindtrap; *a-h* kanaalimpulsgeneratoren; *i* synchronisatie-impulsgenerator; *I-VIII* kanaalvensterbuizen. De schakelmanipulaties worden uitgevoerd met behulp van de multivibratoren M_1, M_2 en M_3 en de schakelaars S_1-S_4. Het eerste kanaal wordt via de versterker *A* door een modulatiespanning gestuurd.

de acht kanaalimpulsgeneratoren aangeduid, terwijl *i* de synchronisatie-impulsgenerator is. De modulatie vindt plaats in de eindtrap van de zender en wel door de kanaalimpulsgeneratoren via de kanaalvensterbuizen *I-VIII* en door de synchronisatie-impulsgenerator direct.

[4]) C. J. H. A. Staal, Een apparatuur voor multiplex-impulsmodulatie, Philips techn. T. **11**, 133-144.

de kraan zijn twee kanalen nodig, nl. één voor het draaien van de kraanarm en één voor de hijskabel. Het ophijsen van het vliegtuigje geschiedt met be-

[5]) Bij de motoren die dienen voor de reddingsboten, de kraanarm en de hijskabel, wordt door een tuimelschakelaar telkens bij het bereiken van een eindstand de draairichting automatisch omgekeerd. De motor waarmede de katapultinstallatie wordt bediend, loopt steeds in dezelfde richting.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

hulp van een tweetal permanente magneetjes, waarvan er één aan de hijskabel is bevestigd en één in de romp van het vliegtuigje is aangebracht. Bij het aan boord hijsen wordt het vliegtuigje door twee zoekstiften in de juiste stand gebracht, waarna de staartsteun door een haak van de katapultinstallatie kan worden gegrepen. Het vliegtuigje wordt weggeschoten door een tweetal tegen het landingsgestel drukkende veren.

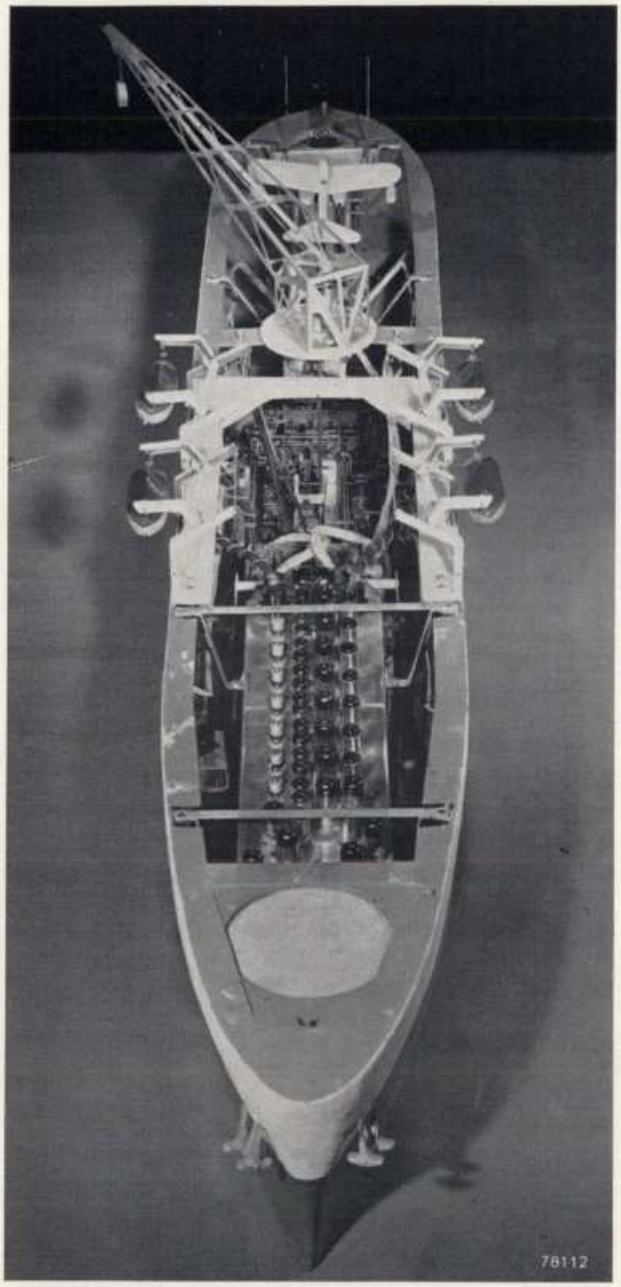

Fig. 5. Binnenaanzicht van de demonstratieboot met het achtkanalensysteem voor draadloze besturing.

In de hier beschreven boot zijn twee typen motoren toegepast. Voor de verstelling van het roer en de bediening van de kraan zijn weer „Philishave" motoren gebruikt. Voor de overige functies is echter het vereiste vermogen zo groot, dat hiervoor krachtiger motoren nodig bleken te zijn. De keus viel hier op motoren waarvan de stator uit een permanente magneet bestaat, zodat alleen voor de rotor stroom nodig is. De „Philishave" motoren worden gevoed door een achttal zaklantaarnbatterijen en de andere motoren door een ijzernikkelbatterij, die eveneens voor de voeding van de ontvanger dient.

Deze ontvanger bevat 40 buizen (van dezelfde types als reeds genoemd). Desondanks bedraagt het totale vermogen dat voor de gloeidraden nodig is, slechts 2,8 W. De buizen worden gevoed door de zojuist genoemde ijzernikkelbatterij, die een spanning van 24 V levert en een capaciteit van 15 Ah bezit. De hoogspanning van 164 V wordt van deze batterij verkregen met behulp van een trilleromvormer. Het totale verbruik van de ontvanger, die 1,75 kg weegt, bedraagt 27 W.

Fig. 5 toont een binnenaanzicht van de demonstratieboot met het achtkanalensysteem. Het gewicht bedraagt 60 kg en de lengte 2 m. De aan boord aanwezige batterijen (ijzernikkelaccumulator en droge batterijen voor de „Philishave" motoren) wegen tezamen 19 kg. Ook deze boot kan hiermede enkele uren varen zonder laden van de accu of vervangen van de droge batterijen.

Samenvatting. Beschreven worden twee bootmodellen: een eenvoudig model, dat draadloos bestuurd wordt met een tweekanalensysteem (amplitudemodulatie), en een ingewikkeld model, waarmee talrijke manoeuvres kunnen worden uitgevoerd en dat hiertoe draadloos bestuurd wordt met een achtkanalensysteem (multiplex-impulsmodulatie). Hoewel de ontvanger in de eerste boot 7 buizen, die in de tweede boot zelfs 40 buizen bevat, zijn het voor de voeding vereiste vermogen en het gewicht van de ontvangers en stroombronnen relatief gering dank zij de toepassing van de moderne, zeer kleine en spaarzame radiobuizen voor batterijvoeding.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN APPARAAT VOOR HET METEN VAN GROEPLOOPTIJDEN

door H. J. de BOER en A. van WEEL. 621.317.342.018.782.4:621.397.6

Aan een radio-ontvangtoestel wordt o.a. de eis gesteld dat het de amplitude voor alle frequenties die voorkomen in het audiosignaal, evenveel versterkt, terwijl aan de fazeverschuivingen die de componenten van verschillende frequentie in de ontvanger ondergaan, geen aandacht behoeft te worden besteed. Daarentegen zijn bij een televisieontvanger in het videosignaal ook deze fazeverschuivingen van groot belang. De eis die hier gesteld moet worden, is dat de looptijd van een signaal door de ontvanger onafhankelijk is van de frequentie. Dit artikel bevat een beschrijving van een apparaat waarmee men verschillen in looptijd kan meten met een nauwkeurigheid van 10^{-9} sec.

Inleiding

Fazelooptijd

In een electrisch overgebracht signaal kunnen door het transmissienetwerk (kabelsectie, versterker, zender, e.d.) verschillende soorten vervorming geïntroduceerd worden. Eén daarvan hangt samen met de fazelooptijden voor de verschillende frequenties. Om de „fazelooptijd" te definiëren, beschouwen wij het geval dat aan de ingang van een netwerk een signaal $A\cos(\omega t + \beta)$ wordt toegevoerd. Aan de uitgang zal het signaal de gedaante hebben gekregen:

$$A'\cos(\omega t + \varphi + \beta).$$

Als we stellen

$$\tau_f = -\frac{\varphi}{\omega}, \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

wordt het uitgangssignaal:

$$A'\cos\{\omega(t-\tau_f) + \beta\}.$$

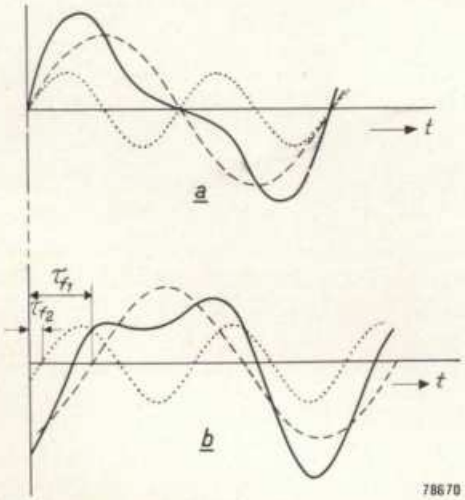

Fig. 1. Voorbeeld van fazedistorsie. *a*) Ingangssignaal van een netwerk. Het signaal bevat componenten met hoekfrequenties ω en 2ω, die gestippeld zijn getekend.
b) Uitgangssignaal van hetzelfde netwerk. De fazelooptijd van de component met hoekfrequentie ω is groter ondersteld dan de fazelooptijd van de component met hoekfrequentie 2ω. Men ziet de optredende fazedistorsie.

Op het tijdstip $t_1 + \tau_f$ heeft het uitgangssignaal dus de faze die het ingangssignaal had op het tijdstip t_1. Men noemt τ_f daarom de fazelooptijd. Hangt de fazelooptijd af van de frequentie, dan zullen de Fouriercomponenten waaruit men een willekeurig signaal opgebouwd kan denken, na het passeren

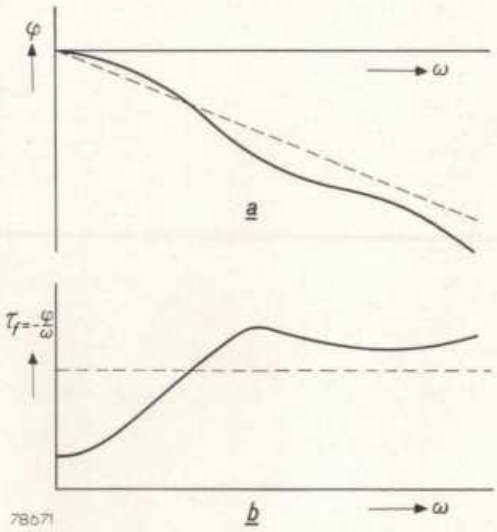

Fig. 2. *a*) Fazekarakteristieken voor een netwerk dat fazedistorsie introduceert (getrokken lijn) en voor een netwerk dat dit niet doet (gestippelde lijn).
b) Fazelooptijdkarakteristieken afgeleid uit de fazekarakteristieken van (*a*).

van het netwerk ten opzichte van elkaar zijn verschoven. De vervorming die van deze looptijdverschillen het gevolg is, noemt men fazedistorsie (*fig. 1*). Om fazedistorsie te voorkomen, moet men dus de eis stellen dat de fazelooptijd onafhankelijk is van de frequentie, in het frequentiegebied waarbinnen de Fouriercomponenten van het signaal liggen. Volgens (1) betekent dit dat in dit gebied de fazeverschuiving φ, die het netwerk geeft aan een sinusvormig signaal, recht evenredig moet zijn met de frequentie.

In *fig. 2a* zijn fazekarakteristieken getekend voor een netwerk zonder en voor een netwerk met

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

fazevervorming. Fig. 2*b* laat zien hoe in het eerste geval de fazelooptijd niet en in het tweede geval wel van de frequentie afhankelijk is.

Modulatiefazelooptijd

Een enigszins andere situatie treedt op indien het signaal gemoduleerd is op een draaggolf. In *fig. 3a* en *b* zijn resp. de faze- en de amplitudekarakteristiek (amplitudeversterking a als functie van de hoekfrequentie) getekend voor een willekeurig hoogfrequentienetwerk. Stel dat aan dit netwerk een draaggolf (hoekfrequentie ω_0) wordt toegevoerd waarvan de amplitude sinusvormig is gemoduleerd met een frequentie $\omega_m/2\pi$ en een modulatiediepte m, dus, afgezien van een constante factor, een signaal van de vorm:

$$S_i = (1 + m\cos\omega_m t)\cos\omega_0 t =$$

$$= \cos\omega_0 t + \frac{m}{2}\cos(\omega_0+\omega_m)t + \frac{m}{2}\cos(\omega_0-\omega_m)t. \quad (2)$$

De fazen en amplitudes van de drie componenten waaruit dit signaal volgens (2) kan worden opgebouwd, zullen na het passeren van het netwerk waarden hebben gekregen die volgen uit fig. 3*a* en *b*. Aan de uitgang van het netwerk zal dus een signaal optreden van de vorm:

$$S_u = a_0\cos(\omega_0 t+\varphi_0) + a_1\frac{m}{2}\cos\{(\omega_0+\omega_m)t+\varphi_1\} +$$

$$+ a_2\frac{m}{2}\cos\{(\omega_0-\omega_m)t+\varphi_2\}. \quad . \quad . \quad (3)$$

Door een goniometrische herleiding (zie Aanhangsel) blijkt dat deze uitdrukking voor S_u een draaggolf met hoekfrequentie ω_0 voorstelt, waarvan de amplitude weer periodiek gemoduleerd is met een grondfrequentie $\omega_m/2\pi$. Daarnaast treden hogere harmonischen op, waarvoor we ons op deze plaats echter niet interesseren. Uit de afleiding blijkt tevens dat, indien de modulatiediepte aan de ingangszijde klein is ($m \ll 1$), de grondcomponent van de modulatie een hoek ψ is verschoven ten opzichte van de modulatie van het ingangssignaal, waarbij ψ wordt gegeven door:

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{a_1\sin(\varphi_1-\varphi_0) - a_2\sin(\varphi_2-\varphi_0)}{a_1\cos(\varphi_1-\varphi_0) + a_2\cos(\varphi_2-\varphi_0)}. \quad (4)$$

De van de tijd afhankelijke factor $\cos\omega_m t$ in de modulatie van het ingangssignaal is dan overgegaan in $\cos\omega_m(t + \psi/\omega_m)$ in het uitgangssignaal. De „modulatiefazelooptijd" is dus

$$\tau_{fm} = -\psi/\omega_m. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

In een signaal dat als modulatie wordt overgebracht, treedt fazedistorsie op als de modulatiefazelooptijd afhangt van de modulatiefrequentie. Aan banddoorlatende gedeelten van televisie-apparatuur (hoogfrequentiegedeelte) moet men dus volgens (5) de eis stellen dat de door (4) gegeven fazeverschuiving ψ als functie van ω_m een rechte door de oorsprong is. De modulatiefazelooptijd $-\psi/\omega_m$ treedt hier in de plaats van de eerstbesproken „normale" fazelooptijd $-\varphi/\omega$ (zie verg. 1).

Wil men de invloed van fazedistorsie in televisieapparatuur bestuderen, dan moet men de verschillen in normale fazelooptijden (in het videogedeelte) en de verschillen in modulatiefazelooptijden (in het hoogfrequentiegedeelte) met voldoende nauwkeurigheid kunnen meten. In principe zou men daartoe rechtstreeks de fazekarakteristieken van de te onderzoeken netwerken kunnen opnemen. Normale fazelooptijden kan men hieruit direct afleiden (zie (1)). Voor de bepaling van modulatiefazelooptijden uit (4) en (5), waarover wij nu eerst zullen spreken, dient men bovendien de beschikking te hebben over de amplitudekarakteristiek van het hoogfrequentiegedeelte. Meting van de benodigde karakteristieken, ook bij de toegepaste hoge frequenties (enige tientallen MHz), is wel mogelijk [1]), maar de resultaten zijn niet nauwkeurig genoeg voor ons doel. Immers, de uit de fazekarakteristiek afgelezen waarden van φ_0, φ_1 en φ_2 zijn in het algemeen groot ten opzichte van de verschillen $\varphi_1-\varphi_0$ en $\varphi_2-\varphi_0$ die wij moeten bepalen om formule (4) te kunnen toepassen.

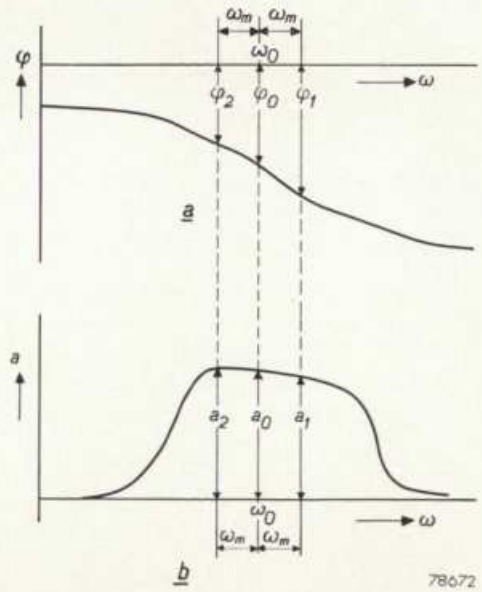

Fig. 3. Fazekarakteristiek (*a*) en amplitudekarakteristiek (*b*) van een willekeurig banddoorlatend netwerk voor hoge frequenties.

[1]) Men zie bijv.: G. Thirup, Een instrument voor het meten van complexe spanningsverhoudingen bij frequenties van 1 tot 100 MHz, Philips techn. T. **14**, 142-155, 1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Wij zullen hier een apparatuur beschrijven (*fig. 4*) waarmee men zeer nauwkeurig rechtstreeks de helling van de fazekarakteristiek meet, dus $d\varphi/d\omega$ als functie van ω. Om een reden die wij straks zullen noemen, is de grootheid

$$\tau_g = -d\varphi/d\omega \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

bekend als „groeplooptijd". De meetapparatuur heeft daarom de naam „groeplooptijdmeter" gekregen. Verschillen in de fazeverschuivingen die behoren bij verschillende frequenties, kan men door integratie (bijv. grafisch) van de groeplooptijd bepalen. Zo vindt men:

$$\varphi_1 - \varphi_0 = -\int_{\omega_0}^{\omega_0+\omega_m} \tau_g \, d\omega, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

en voor $\varphi_2 - \varphi_0$ geldt een analoge uitdrukking.

De hier te bespreken apparatuur is ingericht voor het meten van groeplooptijden met een nauwkeurigheid van 10^{-9} sec. Volgens een schatting gemaakt door Ring [2]) is dit de nauwkeurigheid waarnaar men in eerste instantie moet streven. Ter orientatie diene dat bij een frequentie van 5 MHz (de hoogste frequentie die bij televisie in het videosignaal voorkomt bij 625 lijnen) een fazeverschil van 2π radialen tussen de signalen aan de ingang en de uitgang van een netwerk correspondeert met een fazelooptijd van $200 \cdot 10^{-9}$ sec.

[2]) D. H. Ring, The measurement of delay distortion in microwave repeaters, Bell Syst. techn. J. **27**, 247-264, 1948.

Groeplooptijd

De naam „groeplooptijd" voor de grootheid $\tau_g = -d\varphi/d\omega$ is voortgevloeid uit de betekenis van deze grootheid in het eenvoudige geval dat de fazekarakteristiek recht is in het interesserende frequentiegebied. Dan geldt nl.:

$$\varphi_1 - \varphi_0 = -(\varphi_2 - \varphi_0) = -\tau_g \cdot \omega_m,$$

waarin τ_g constant is. Door dit in (4) te substi-

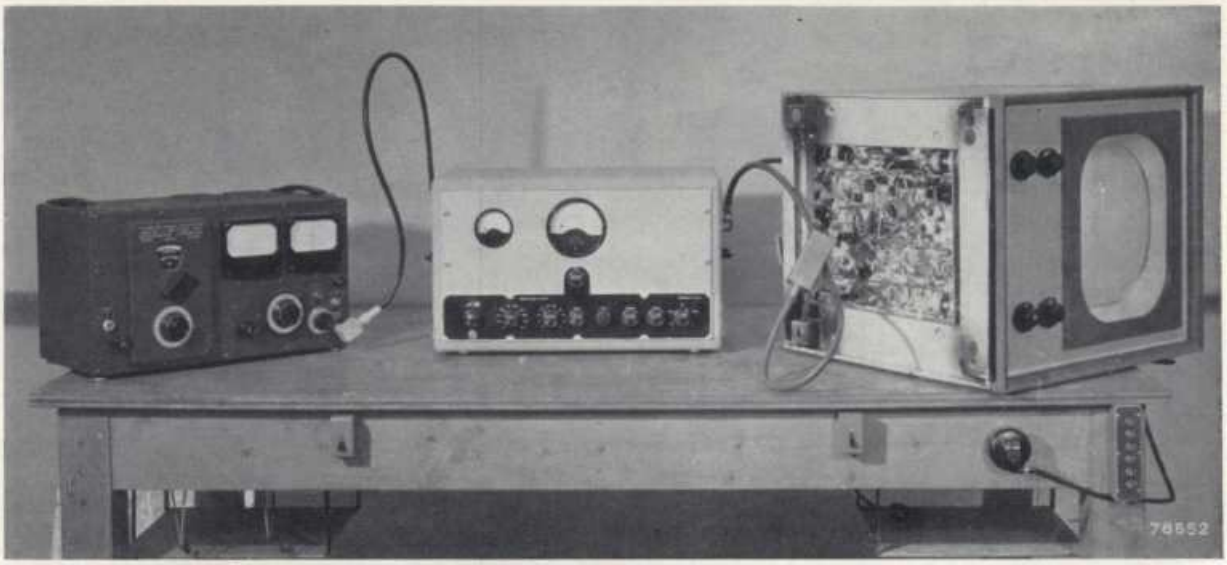

Fig. 4. De groeplooptijdmeter (midden) tijdens een meting aan het hoog- en middenfrequentiegedeelte van een televisieontvangtoestel (rechts). Geheel links staat een meetzender, die de voor de meting nodige draaggolf levert. Met de afgebeelde apparatuur zijn metingen mogelijk bij draaggolffrequenties van 10 tot ca. 100 MHz; de nauwkeurigheid is 10^{-9} sec.

tueren, vindt men:

$$\psi = -\tau_g \omega_m, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

en dus, volgens (5):

$$\tau_{fm} = \tau_g. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

τ_{fm} is dus onafhankelijk van ω_m zolang $\omega_0 + \omega_m$ en $\omega_0 - \omega_m$ bij het als recht te beschouwen gedeelte

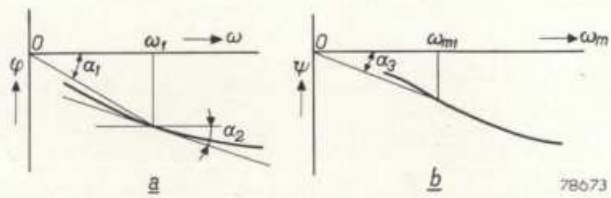

Fig. 5. *a*) Meetkundige betekenis van fazelooptijd en groeplooptijd. Getekend is een fazekarakteristiek. De fazelooptijd τ_f voor hoekfrequentie ω_1 is $-\operatorname{tg} \alpha_1$ (zie verg. 1), de groeplooptijd τ_g voor dezelfde hoekfrequentie is $-\operatorname{tg} \alpha_2$ (zie verg 6). *b*) De modulatiefazelooptijdkarakteristiek behorende bij een zekere draaggolffrequentie. Langs de abscis is nu de modulatiehoekfrequentie ω_m uitgezet. De modulatiefazelooptijd heeft in deze grafiek dezelfde meetkundige betekenis als de fazelooptijd heeft in (*a*), en wordt bij de modulatiefrequentie ω_{m1} gegeven door $-\operatorname{tg} \alpha_3$ (zie verg. 5).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van de fazekarakteristiek behoren. Een modulatiesignaal dat bestaat uit een groep componenten met dergelijke hoekfrequenties ω_m passeert dus onvervormd het netwerk in de groeplooptijd τ_g.

Aan de ingevoerde looptijden kan men een meetkundige betekenis toeschrijven, die in *fig. 5* en het bijbehorende onderschrift wordt toegelicht.

Meting van groeplooptijden

Door het netwerk waarvan de groeplooptijd (dwz. de helling van de fazekarakteristiek) bij de hoekfrequentie ω moet worden bepaald, sturen wij een signaal met deze hoekfrequentie. Wij moduleren het signaal met een hoekfrequentie — waarvoor wij in dit geval het symbool p in plaats van ω_m gebruiken — die zo laag is gekozen dat in hoekfrequentiegebieden van breedte $2p$ de fazekarakteristiek nog als recht mag worden beschouwd. Voor de fazeverschuiving die deze modulatie in het netwerk ondergaat en die wij nu ϑ zullen noemen, geldt dan volgens (8):

$$\vartheta = -\tau_g p. \quad \ldots\ldots \quad (10)$$

Bij een gegeven vaste waarde van p is ϑ dus een maat voor de gezochte groeplooptijd. Het meten van groeplooptijden is zo teruggebracht tot het meten van de fazeverschuiving die een modulatie met de vaste hoekfrequentie p in het te onderzoeken netwerk ondergaat [3]).

Bij het kiezen van de waarde van de modulatiehoekfrequentie p stuiten we op tegenstrijdige eisen. Voor een gevoelige meting is het blijkens (10) nuttig p groot te kiezen, daar dan een kleine verandering van τ_g een grote verandering van ϑ tot gevolg heeft. De nauwkeurigheid vereist echter een lage waarde van p, daar de benadering van de fazekarakteristiek door een rechte, en dus ook formule (10), nauwkeuriger is naarmate p lager wordt gekozen. In de te bespreken apparatuur is $p/2\pi = 25$ kHz aangehouden als een goede practische waarde. Volgens (10) houdt dit in dat men voor het meten van groeplooptijdverschillen van 10^{-9} sec fazeverschillen van 0,01° moet kunnen meten. Het hoofdprobleem is dan ook het ontwerpen van een zeer gevoelige fazemeter.

Principe van de fazemeter

Voor het meten van kleine fazeveranderingen is gebruik gemaakt van een eigenschap van een oscillatorschakeling. In principe bestaat een oscillator uit een versterker waarvan de uitgangsspanning geheel of gedeeltelijk naar de ingang wordt teruggevoerd, zodat een luscircuit ontstaat. Bij een bepaalde frequentie is stabiele oscillatie alleen mogelijk indien de fazeverandering die een signaal van deze frequentie ondergaat bij een rondgang door het luscircuit, gelijk is aan een geheel aantal malen 2π. Iedere oscillatorschakeling bevat een frequentiebepalend element, waarvan de essentiële eigenschap is dat het aan het signaal een fazeverandering geeft die (meestal in hoge mate) afhangt van de frequentie, zodanig dat voor de gewenste frequentie juist aan de fazevoorwaarde is voldaan. De schakeling zal met deze frequentie gaan oscilleren mits bovendien voldaan is aan de voorwaarde dat de versterking bij deze frequentie groter is dan één. De amplitude van de oscillatie groeit dan aanvankelijk aan, maar wordt begrensd doordat bij toenemende amplitude de versterking afneemt, totdat zij precies de waarde één heeft bereikt. In eenvoudige oscillatieschakelingen fungeren de versterkbuizen zelf als amplitudebegrenzende elementen, doordat hun effectieve steilheid automatisch afneemt naarmate de amplitude van de roosterwisselspanning groter wordt. Het zal echter blijken dat in ons geval een afzonderlijke, zorgvuldig geconstrueerde amplitudebegrenzer noodzakelijk is.

Indien door een of andere oorzaak in een oscillerende keten een extrafazeverschuiving wordt geïntroduceerd, is stabiele oscillatie alleen mogelijk bij een frequentie die zoveel verschilt van de oorspronkelijke oscillatiefrequentie dat de fazedraaiing in het frequentiebepalende element met een gelijk en tegengesteld bedrag verandert, zodat opnieuw aan de fazevoorwaarde is voldaan. Is bij de gewijzigde frequentie tevens aan de voorwaarde voor de versterking voldaan, dan blijft de keten oscilleren, nu met deze nieuwe frequentie. Er bestaat dus een zeker verband tussen een geïntroduceerde fazevariatie en de ten gevolge daarvan optredende frequentieverandering. Van deze eigenschap wordt gebruik gemaakt voor de fazemeter die we in onze meetapparatuur nodig hebben. Aan de hand van *fig. 6* zal dit nader worden toegelicht.

Blokschema van de groeplooptijdmeter

In fig. 6 onderscheiden we een selectieve versterker A, waarvan het doorlaatgebied ligt bij de toegepaste modulatiefrequentie $p/2\pi = 25$ kHz. De uitgangsspanning van de versterker wordt toegevoerd aan een modulator B. Tevens wordt op deze modulator een meetzender C aangesloten, die een draaggolf levert met de te variëren hoekfrequentie ω in het doorlaatgebied van het netwerk X. Het uit-

[3]) Dit principe is het eerst toegepast bij het meten van fazedistorsie in telefonieverbindingen over grote afstanden; zie: H. Nyquist en S. Brand, Bell Syst. techn. J. 9, 522-549, 1930.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gangssignaal van de modulator passeert het netwerk X en wordt daarna gedetecteerd. Verbinden we de uitgang van de detector C met de ingang van de versterker, dan hebben we een gesloten lus gemaakt, waarin oscillatie kan optreden met een frequentie die ligt in het doorlaatgebied van de

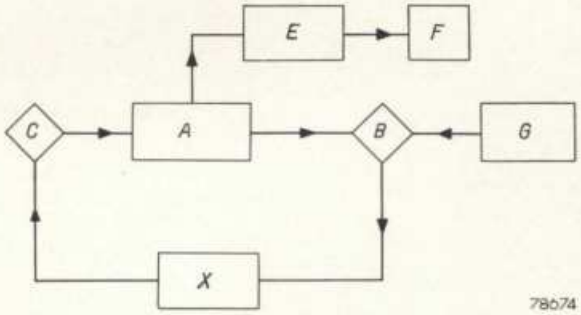

Fig. 6. Blokschema van de opstelling voor het meten van groeplooptijden als functie van de frequentie. In de lus gevormd door de versterker A, de modulator B, het door te meten netwerk X en de detector C treedt oscillatie op met de nominale frequentie 25 kHz. Een fazevariatie in X veroorzaakt een verandering van de frequentie. De discriminator E zet deze verandering om in een spanningsverandering, die op haar beurt gemeten wordt met de buisvoltmeter F. De meetzender G levert een draaggolf met de frequentie waarbij men het gedrag van het netwerk X wil onderzoeken. Op deze draaggolf wordt de oscillatiefrequentie gemoduleerd.

versterker. Er is zorg voor gedragen dat in dit gebied aan de fazevoorwaarde voldaan kan worden. De exacte waarde p van de oscillatiehoekfrequentie wordt in hoofdzaak bepaald door het frequentiebepalende element dat in de versterker is opgenomen, maar wordt tevens beïnvloed door de fazeverschuiving welke het signaal ondergaat tijdens het als modulatie doorlopen van het netwerk X. Daar deze fazeverschuiving ϑ volgens (10) samenhangt met de groeplooptijd van X bij de hoekfrequentie ω, bestaat er dus een verband tussen deze groeplooptijd en de oscillatiefrequentie. Dit verband kan als volgt worden afgeleid.

Verband tussen groeplooptijd en oscillatiefrequentie

Bij verandering van de draaggolfhoekfrequentie ω zal de groeplooptijd τ_g van X veranderen met $\Delta\tau_g$. Tegelijkertijd verandert de oscillatiehoekfrequentie van p tot $p+\Delta p$, zodanig dat aan de fazevoorwaarde voldaan blijft. De fazeverschuiving van de modulatie in het netwerk X verandert dus van (zie verg. 10) $-p\tau_g$ tot $-(p+\Delta p)(\tau_g+\Delta\tau_g)$, dus met een bedrag:

$$\Delta\vartheta = -(p\Delta\tau_g + \tau_g\Delta p),$$

als de term $\Delta p\Delta\tau_g$ wordt verwaarloosd. In de rest van het luscircuit verandert de fazeverschuiving met een gelijk doch tegengesteld bedrag $\Delta'\vartheta$. Van deze rest van het circuit, dus zonder netwerk X, en opengeknipt bij de ingangsklemmen van de versterker, kunnen we de fazekarakteristiek opgenomen denken. Is deze karakteristiek recht in de omgeving van 25 kHz, waarvoor gemakkelijk kan worden gezorgd, en is de helling daar ter plaatse $d\varphi/d\omega = -t_0$, dan is:

$$\Delta'\vartheta = -t_0\,\Delta p.$$

t_0 stelt blijkbaar de groeplooptijd voor van de opengeknipte keten, zonder netwerk X, voor een signaal dat gemoduleerd zou worden op een draaggolf waarvan de frequentie 25 kHz bedraagt. We noemen t_0 de eigen groeplooptijd van de meetapparatuur.

Door gelijkstelling van $\Delta\vartheta$ en $-\Delta'\vartheta$ volgt dat, afgezien van het teken:

$$\Delta\tau_g = \frac{t_0+\tau_g}{p}\Delta p.$$

De meetapparatuur wordt zodanig gemaakt dat $t_0 \gg \tau_g$, zodat:

$$\Delta\tau_g = \frac{t_0}{p}\Delta p. \quad \ldots\ldots \quad (11)$$

Daar t_0 en p bekend zijn, kunnen we $\Delta\tau_g$ vinden door Δp te meten [4]).

Het is duidelijk dat we op deze wijze de groeplooptijd slechts op een constante na bepaald hebben. Bij nader onderzoek blijkt dat, door geen onderscheid te maken tussen $\Delta\tau_g$ en τ_g zelf, we uit (4) en (5) de modulatiefazelooptijd vinden op dezelfde constante na. Dit is geen bezwaar, daar voor ons doel alleen verschillen in modulatiefazelooptijden van belang zijn.

Enige bijzonderheden van de apparatuur

De versterker

De waarde van de oscillatiefrequentie mag alleen beïnvloed worden door de groeplooptijd van het te onderzoeken netwerk. Dit betekent dat de oscillatiefrequentie van het luscircuit, zonder dit netwerk, stabiel moet zijn.

---

[4]) De zo bepaalde verandering in de groeplooptijd heeft betrekking op het gedeelte van het luscircuit waarin het signaal als modulatie wordt overgebracht. Dit gedeelte bestaat uit het netwerk X, maar omvat ook gedeelten van de modulator en van de detector. Er is voor gezorgd dat de bijdragen van modulator en detector tot de groeplooptijd onafhankelijk zijn van ω in het in aanmerking komende frequentiegebied, zodat alleen het netwerk X bijdraagt tot de verandering in de groeplooptijd. Dit brengt echter mee dat voor verschillende frequentiegebieden verschillende modulatoren en detectoren gebruikt moeten worden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Wanneer men normaal een stabiele oscillator wil bouwen, maakt men gebruik van zeer selectieve kringen (bijv. met een kristal). Zulke kringen hebben de eigenschap dat zij in de buurt van hun resonantiefrequentie een steil verlopende fazekarakteristiek hebben (t_0 wordt groot): kleine fazeveranderingen die in het circuit optreden, hebben dan slechts minieme frequentieveranderingen tot gevolg. Dit geldt echter voor iedere en dus ook voor de hier opzettelijk geïntroduceerde fazevariatie. De methode is voor ons doel dus ongeschikt, daar de meetgevoeligheid gering wordt zonder dat de verhouding van de invloed van ongewilde en opzettelijke fazevariaties wordt verbeterd. Wij moeten de frequentieconstantheid van onze oscillator niet bereiken door de invloed van ongewilde fazevariaties te verkleinen, maar door het optreden van deze variaties zo goed mogelijk te vermijden.

In de onderhavige apparatuur bevat de versterker daartoe twee soorten versterktrappen. In de eerste plaats is een versterktrap opgenomen die in zijn anodeketen een door een parallelweerstand R gedempte LC-kring bevat. Deze kring, die op 25 kHz is afgestemd, vormt het frequentiebepalende element in de schakeling. De fazedraaiing die de versterktrap geeft is, op het teken na, gelijk aan de fazehoek α van de anode-impedantie. Zoals men door een eenvoudige berekening verifieert, geldt in de buurt van resonantie:

$$d\alpha/d\omega = 2\,RC.$$

Dit is dus tevens de bijdrage van de versterktrap tot de eigen groeplooptijd t_0 van de meetapparatuur.

In de tweede plaats is een aantal weerstandsversterktrappen met een lage anodeweerstand gebruikt. Ook een weerstandsversterktrap veroorzaakt, door de parallel aan de anodeweerstand staande buis- en bedradingscapaciteit, nog een geringe fazeverschuiving. De waarde van deze verschuiving blijkt echter zeer weinig af te hangen van variaties in de waarden van weerstand en capaciteit, mits de weerstand klein wordt gekozen. Door de kleine weerstand is de versterking per trap slechts gering, zodat de noodzakelijke versterking door meer trappen moet worden bereikt. Variaties in de fazeverschuiving die in dit deel van de apparatuur nog kunnen optreden, zijn zo klein dat zij ons geen zorgen baren. De bijdrage van de weerstandsversterktrappen tot de eigen groeplooptijd t_0 van de meetapparatuur is zo klein, dat men t_0 gelijk kan stellen aan de bijdrage geleverd door de afgestemde trap, dus (zie boven):

$$t_0 \approx 2\,RC.$$

De waarde van RC is zo gekozen dat $t_0 = 60$ µsec. Voor practisch voorkomende waarden van τ_g is dan voldaan aan de eis $t_0 \gg \tau_g$, terwijl de gevoeligheid nog voldoende groot blijft.

De amplitudebegrenzer

Een amplitudebegrenzend element in een oscillatorschakeling is uit de aard der zaak niet-lineair. Onvermijdelijk introduceert het in het circuit dus harmonischen van de trilling. Indien behalve de component met de grondfrequentie ook de component met de dubbele frequentie na het doorlopen van het luscircuit de ingang van het begrenzende element bereikt, produceert dit element o.a. een signaal met de verschilfrequentie, die dus gelijk is aan de grondfrequentie $p/2\pi$ (conversie). Dit ongewenste en het gewenste p-signaal zullen in het algemeen niet in faze zijn, zodat het resulterende p-signaal ten opzichte van het gewenste signaal in faze verschoven zal zijn over een hoek die afhangt van de amplitude en de faze van het ongewenste signaal. Was deze fazeverschuiving constant in het gehele meetgebied, dan zou bij alle afgelezen waarden van $\Delta\tau_g$ een constant bedrag zijn opgeteld, wat geen bezwaar is omdat, zoals eerder is besproken, toch alleen groeplooptijd*verschillen* van belang zijn. Ongelukkigerwijze zal echter de *amplitude* van het ongewenste signaal, en daarmee de invloed op de faze van het resulterende signaal, afhangen van de instelling van de amplitudebegrenzer. Deze begrenzer zal zich immers zo instellen dat de totale versterking van het p-signaal juist één is bij een rondgang door het luscircuit, en daar de versterking die het p-signaal in het netwerk X ondergaat in het algemeen niet constant zal zijn in het gehele meetgebied, zal ook de invloed van het ongewenste p-signaal niet constant zijn.

Door een tweetal maatregelen is deze storende invloed beperkt. Ten eerste is een speciale amplitudebegrenzer gebruikt die slechts weinig distorsie geeft, en ten tweede zorgt de in de versterker opgenomen selectieve kring er voor dat hogere harmonischen sterk worden verzwakt.

De discriminator

Voor het meten van de frequentieveranderingen wordt een frequentiediscriminator gebruikt. Deze levert aan de uitgang een gelijkspanning evenredig met het verschil tussen de aan de ingang toegevoerde frequentie en een zekere vaste frequentie. Bij de gebruikte waarden van p en t_0 correspondeert een groeplooptijdvariatie van 10^{-9} sec met een frequentieverandering van ca. 0,5 Hz (zie verg. 11). De genoemde vaste frequentiewaarde moet dus con-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

stant zijn binnen grenzen die belangrijk minder dan 0,5 Hz uit elkaar liggen, wil de gestelde nauwkeurigheid van 10^{-9} sec in de groeplooptijdmeting geen fictie blijken. Bovendien moet de gevoeligheid van de discriminator voldoende groot zijn. Daartoe wordt de uitgangsspanning van de discriminator, welke direct evenredig is met de gezochte groeplooptijdvariaties, gemeten met een buisvoltmeter. Deze is rechtstreeks in nanoseconden (10^{-9} sec) geijkt. De vier meetgebieden van de buisvoltmeter corresponderen met 0-1000, 0-300, 0-100 en 0-30 nanosec.

„Afschakelen van looptijd"

Indien men het luscircuit laat oscilleren zonder dat een onbekend netwerk X is opgenomen, kan men de afstemming van de versterker zo regelen dat de oscillatiefrequentie samenvalt met de vaste frequentiewaarde waarbij de discriminator de uitgangsspanning nul geeft. Neemt men daarna het onbekende netwerk in het circuit op, dan meet men dus de absolute groeplooptijd van dit netwerk. Belangrijker dan deze absolute waarde zijn echter de variaties van de groeplooptijd binnen het frequentiegebied dat ons interesseert. Is de absolute looptijd lang, bijv. $500 \cdot 10^{-9}$ sec en bedragen de variaties slechts enige malen 10^{-9} sec, dan zou men deze kleine variaties moeten aflezen op de schaal van $1000 \cdot 10^{-9}$ sec. Om dit bezwaar te ondervangen, is de mogelijkheid geschapen in de versterker fazeveranderingen van bekende waarde te introduceren, wat eenvoudig bewerkstelligd wordt door aan een bekende weerstand verschillende condensatoren parallel te schakelen. Een fazeverandering $\Delta\theta$ in de meetapparatuur heeft dezelfde invloed op de oscillatiefrequentie als een verandering $\Delta\theta/p$ in de groeplooptijd van het onbekende netwerk (zie verg. 10). Men kan zo als het ware groeplooptijd afschakelen. Een en ander is zo uitgevoerd dat men de groeplooptijd in stappen van $100 \cdot 10^{-9}$ en $10 \cdot 10^{-9}$ sec kan regelen.

Meetobjecten met eigen detector

In vele meetobjecten, bijv. in televisieontvangers, is reeds een detector aanwezig. In de meetapparatuur kan deze dan gemist worden en in het in fig. 4 afgebeelde apparaat is dan ook geen detector opgenomen. Achter de detector in het meetobject bevindt zich gewoonlijk nog een netwerk — in televisieontvangers het videogedeelte — dat door het signaal wordt doorlopen voordat de p-versterker wordt bereikt. Indien de fazekarakteristiek van dit netwerk in de omgeving van de hoekfrequentie p niet horizontaal loopt, beïnvloedt het netwerk de waarde van t_0 uit formule (11). Het videogedeelte van televisieontvangers is echter een bredebandversterker. Het bevat geen selectieve kringen en derhalve is de fazekarakteristiek steeds zo vlak dat geen belangrijke invloed op t_0 wordt uitgeoefend. Formule (11) blijft dus geldig voor de looptijdvariaties in het gedeelte van de ontvanger waar het signaal op de draaggolf is gemoduleerd.

Indien het signaal in het te onderzoeken toestel na de detector een oneven aantal buizen doorloopt, zou de faze na een rondgang door het meetcircuit juist π radialen mis zijn, zodat de gewenste oscillatie niet zou optreden. Hierin is voorzien door een schakelaar waarmee men de faze met π radialen kan vermeerderen. In fig. 4 ziet men de opstelling bij het doormeten van een televisieontvanger.

Metingen bij videofrequenties

Tot dusverre is stilzwijgend aangenomen dat het p-signaal het meetobject uitsluitend als modulatie doorloopt. Uit de modulator komt echter behalve de gemoduleerde draaggolf o.a. ook een signaal met hoekfrequentie p. Wanneer dit het meetobject doorloopt en de p-versterker bereikt, zal het de faze van het gewenste signaal op onvoorspelbare wijze beïnvloeden en dit kan de groeplooptijdmeting in de war sturen.

Bij metingen aan banddoorlatende gedeelten van het meetobject zal het rechtstreekse p-signaal in dit meetobject genoegzaam verzwakt worden, zodat het de p-versterker niet bereikt. Omvat echter het doorlaatgebied van dit netwerk ook de hoekfrequentie p, zoals bijv. bij videoversterkers het geval is, dan vindt deze onderdrukking niet meer plaats. Daarom moeten bij dergelijke metingen bijzondere voorzieningen getroffen worden. Er is een voorzetapparaat ontwikkeld dat, in combinatie met de besproken groeplooptijdmeter, metingen bij frequenties van ca. 0,1 tot 10 MHz mogelijk maakt.

Het voorzetapparaat bevat een balansmodulator, die de taak van de modulator in de oorspronkelijke apparatuur overneemt, en een balansdetector. Dergelijke balansschakelingen geven in principe aan de uitgang geen p-signaal [5]). De onderdrukking is echter nooit volledig. Vertoont het restsignaal aan de uitgang van de detector een fazeverschil $\pi/2$ met het gewenste signaal, dat als modulatie het meetobject is gepasseerd, dan is zijn storende invloed op de faze van het uiteindelijke signaal het grootst (*fig.* 7). Bij een fazeverschil 0 of π

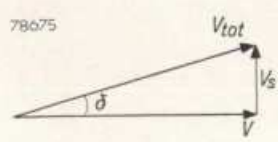

Fig. 7. Fout als gevolg van het optreden van een storend signaal V_s. Het gewenste signaal is V; het totale signaal is V_{tot}. Het fazeverschil δ tussen V en V_{tot} is het grootst als V_s ongeveer $\pi/2$ in faze verschilt van V, maar is nul en introduceert dus geen fout als V en V_s in faze of in tegenfaze zijn.

[5]) Zie bijv.: F. A. de Groot en P. J. den Haan, Modulatoren voor draaggolftelefonie, Philips techn. T. 7, 83-91, 1942.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

treedt daarentegen geen fout op en het is dus van belang te zorgen dat het optredende fazeverschil zo weinig mogelijk van 0 of π afwijkt. Nadere analyse brengt aan het licht dat dit bereikt kan worden door er, zowel bij de modulator als bij de detector, speciale zorg aan te besteden dat de componenten met hoekfrequentie p die door de twee balansbuizen in hun gezamenlijk uitgangssignaal worden geleverd, zo goed mogelijk in tegenfaze zijn (fazebalancering). Bij de experimenten is dan ook gebleken dat een restsignaal van 1% van het gewenste signaal, verkregen door verstoring van de fazebalancering, een duidelijke afwijking in de meetresultaten veroorzaakt, terwijl een zelfde restsignaal, verkregen door het introduceren van een amplitude-onbalans, nauwelijks invloed heeft. Evenals in de weerstandsversterktrappen in de versterker, zijn in de toegepaste schakeling uitsluitend lage weerstanden gebruikt, zodat de eenmaal ingestelde fazebalans niet veel variëren kan.

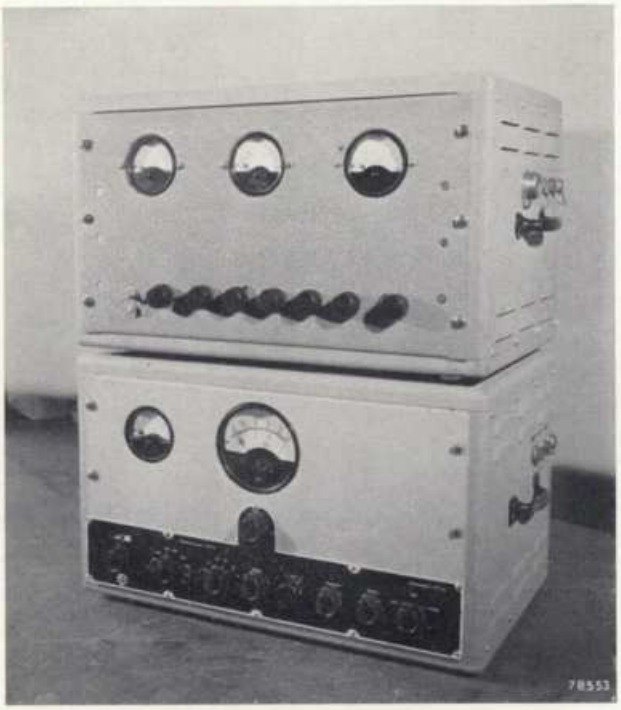

Fig. 8. De combinatie van de groeplooptijdmeter en het daarbovenop geplaatste video-voorzetapparaat, die gebruikt wordt voor groeplooptijdmetingen in het frequentiegebied van ca. 0,1 tot ca. 10 MHz.

Het voorzetapparaat bevat nog een selectieve, op de hoekfrequentie p afgestemde meetversterker. Door deze respectievelijk aan te sluiten op de uitgangszijde van de modulator en van de detector kan men de balansinstellingen van deze onderdelen regelen en controleren.

Fig. 8 toont de combinatie van groeplooptijdmeter en voorzetapparaat.

Voor groeplooptijdmetingen in het frequentiegebied van 0,1 tot 10 MHz gebruikt men dus de combinatie van looptijdmeter en voorzetapparaat, van 10 tot ca. 100 MHz gebruikt men alleen de looptijdmeter. In principe is er geen bovenste grens voor de frequenties waarbij de methode bruikbaar is, in de practijk wordt zulk een grens echter gesteld doordat men voor de diverse frequentiegebieden geschikte modulatoren en detectoren moet bouwen (zie noot [4]). De onderste grens hangt op een nogal gecompliceerde wijze met de grootte van p samen. Het is mogelijk gebleken onder bepaalde omstandigheden tot ca. 60 kHz te meten.

Voor de berekening van de fazelooptijden is het nodig de gemeten groeplooptijdverschillen tot $\omega = 0$ te extrapoleren. Evenals bij de modulatiefazelooptijden het geval was, vindt men de fazelooptijden dan op een additieve constante na.

Enige meetresultaten

Ten einde een indruk te geven van de informatie die men met behulp van de beschreven apparatuur kan verkrijgen, zijn enige resultaten in grafiekvorm uitgezet. De eerste hiervan hebben betrekking op metingen die werden verricht aan een televisieontvangtoestel. Het hoog- en het middenfrequentie-

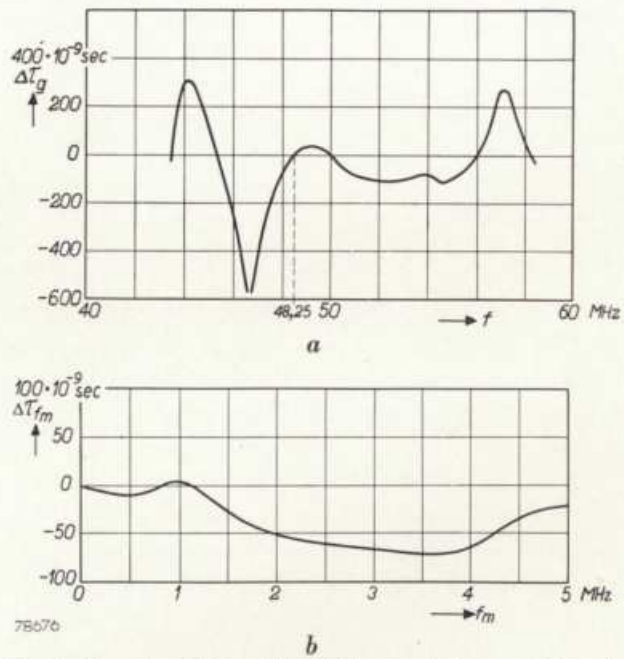

Fig. 9. Groeplooptijdkarakteristiek van het gecombineerde hoog- en middenfrequentiegedeelte van een televisieontvangtoestel. Uitgezet zijn de verschillen $\Delta\tau_g$ ten opzichte van de groeplooptijd bij de draaggolffrequentie van de televisiezender te Lopik (48,25 MHz).
b) Modulatiefazelooptijd van het gecombineerde hoog- en middenfrequentiegedeelte van de televisieontvanger. Als functie van de modulatiefrequentie is uitgezet $\Delta\tau_{fm}$, afgeleid uit de groeplooptijdkarakteristiek (*a*). De amplitudekarakteristieken van het onderzochte netwerkgedeelte zijn hierbij in aanmerking genomen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gedeelte werden tezamen onderzocht. Uitgezet is het verschil ten opzichte van de groeplooptijd voor de draaggolffrequentie van de televisiezender (in dit geval Lopik met 48,25 MHz) waarop de ontvanger was afgestemd (*fig. 9a*). Bij de berekening van de modulatiefazelooptijd τ_{fm} (op een additieve constante na) is gebruik gemaakt van deze kromme en van de amplitudekarakteristieken van het hoog- en middenfrequentiegedeelte van de onderzochte ontvanger, die bekend waren. De berekende kromme is uitgezet in fig. 9*b*, waar zij door de oorsprong is gelegd.

Fig. 10 geeft van dezelfde televisieontvanger de groeplooptijd zoals die gemeten werd aan het videogedeelte tussen de detector en de weergeefbuis.

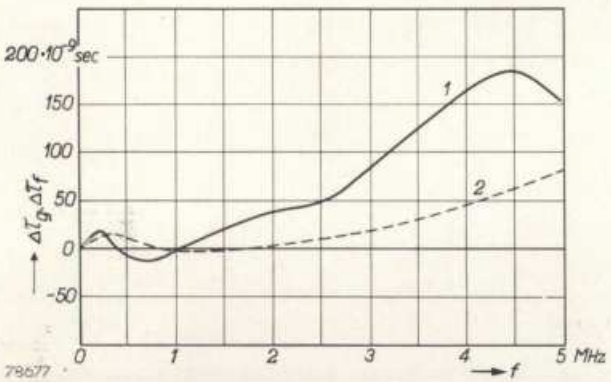

Fig. 10. Looptijdkarakteristieken van het videogedeelte van een televisieontvangtoestel. Kromme *1* geeft de groeplooptijdverschillen die rechtstreeks gemeten zijn, terwijl kromme *2* de fazelooptijdverschillen laat zien die uit *1* zijn afgeleid.
N.B. De ordinaten van beide krommen zijn abusievelijk twee maal te groot getekend.

Tevens is de normale fazelooptijdkarakteristiek opgenomen, die uit de gemeten groeplooptijden is afgeleid.

In *fig. 11* ziet men de groeplooptijdkarakteristiek van de gehele ontvanger, dus vanaf de antenneklemmen tot aan de weergeefbuis. Om deze karakteristiek op te nemen, werden twee modulatoren gebruikt. De eerste moduleerde een signaal met hoekfrequentie p op het videosignaal; vervolgens werd dit gemoduleerde videosignaal door de tweede modulator weer op een hoogfrequente draaggolf gemoduleerd en aan de antenneklemmen toegevoerd. In de videodetector van het ontvangtoestel komt dan het gemoduleerde videosignaal weer vrij. Dit doorloopt het videogedeelte van de ontvanger en wordt daarna gedetecteerd door de detector in het genoemde voorzetapparaat. In de figuur ziet men behalve de gemeten groeplooptijdkarakteristiek ook de daaruit bepaalde fazelooptijden en bovendien, als proef op de som, deze fazelooptijden berekend als som van de modulatiefazelooptijden in het hoog- en middenfrequentiegedeelte (fig. 9*b*) en de fazelooptijden in het videogedeelte (fig. 10).

Fig. 12 ten slotte geeft een indruk van de looptijdkarakteristieken van een speciaal voor een

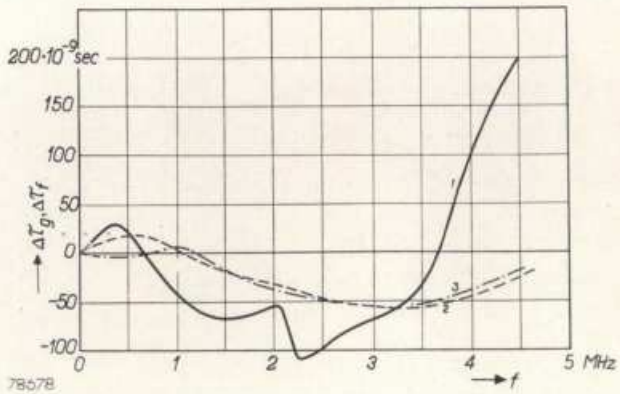

Fig. 11. Looptijdkarakteristieken van een complete televisieontvanger, gemeten van de antenneklemmen tot aan de weergeefbuis. Kromme *1* geeft de rechtstreeks gemeten groeplooptijdverschillen $\Delta\tau_g$, kromme *2* de hieruit bepaalde fazelooptijdverschillen $\Delta\tau_f$ en kromme *3* geeft nog eens $\Delta\tau_f$, nu bepaald als som van $\Delta\tau_f$ voor het videogedeelte (fig. 10) en van $\Delta\tau_{fm}$ voor het hoog- en middenfrequentiegedeelte (fig. 9*b*).

televisiestudio ontwikkelde versterker. Zoals men ziet, is hier een zeer vlakke fazelooptijdkarakteristiek verkregen, wat betekent dat deze versterker practisch geen fazedistorsie veroorzaakt.

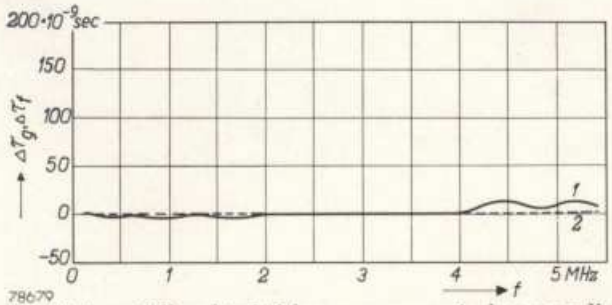

Fig. 12. Looptijdkarakteristieken van een speciaal voor studiogebruik ontwikkelde videoversterker. Kromme *1* geeft weer de gemeten groeplooptijdverschillen, terwijl *2* de fazelooptijdverschillen laat zien.

Aanhangsel: Afleiding van de formules voor de modulatiefazelooptijd

Aan de uitgang van een hoogfrequentienetwerk, aan welks ingang een gemoduleerde draaggolf volgens formule (2) wordt toegevoerd, verkrijgt men een signaal van de gedaante (formule (3) enigszins anders geschreven):

$$S_u = a_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + a_1 \frac{m}{2} \cos\{(\omega_0 t + \varphi_0) + (\omega_m t + \varphi_1 - \varphi_0)\} +$$
$$+ a_2 \frac{m}{2} \cos\{(\omega_0 t + \varphi_0) - (\omega_m t - \varphi_2 + \varphi_0)\}.$$

Dit kan worden geschreven als:

$$S_u = B_1 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + B_2 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) =$$
$$= \sqrt{B_1^2 + B_2^2} \cos(\omega_0 t + \varphi_0'), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

waarin:

$$\left.\begin{aligned} B_1 &= a_0 + a_1\frac{m}{2}\cos(\omega_m t+\varphi_1-\varphi_0) + a_2\frac{m}{2}\cos(\omega_m t-\varphi_2+\varphi_0)\\ B_2 &= \quad a_1\frac{m}{2}\sin(\omega_m t+\varphi_1-\varphi_0) - a_2\frac{m}{2}\sin(\omega_m t-\varphi_2+\varphi_0)\end{aligned}\right\} \quad (13)$$

Uit (12) ziet men dat S_u een draaggolf is met hoekfrequentie ω_0, waarvan de amplitude gelijk is aan $\sqrt{B_1^2 + B_2^2}$. Daar het signaal toch gedetecteerd wordt, is alleen deze amplitude voor ons van belang. Met behulp van (13) vindt men:

$$B_1^2 + B_2^2 = a_0^2 + \frac{a_1^2 m^2}{4} + \frac{a_2^2 m^2}{4} + \\ + a_0 a_1 m\cos(\omega_m t+\varphi_1-\varphi_0) + a_0 a_2 m\cos(\omega_m t-\varphi_2+\varphi_0) + \\ + \frac{a_1 a_2 m^2}{2}\cos(2\omega_m t+\varphi_1-\varphi_2). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

Voor de som van de vierde en vijfde term kan men schrijven, de gemeenschappelijke factor $a_0 m$ weglatend:

$$a_1\cos(\omega_m t+\varphi_1-\varphi_0) + a_2\cos(\omega_m t-\varphi_2+\varphi_0) = \\ = \{a_1\cos(\varphi_1-\varphi_0) + a_2\cos(\varphi_2-\varphi_0)\}\cos\omega_m t - \\ - \{a_1\sin(\varphi_1-\varphi_0) - a_2\sin(\varphi_2-\varphi_0)\}\sin\omega_m t = C\cos(\omega_m t+\psi),$$

waarin C een constante is en

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{a_1\sin(\varphi_1-\varphi_0) - a_2\sin(\varphi_2-\varphi_0)}{a_1\cos(\varphi_1-\varphi_0) + a_2\cos(\varphi_2-\varphi_0)}.$$

Dit is formule (4).

Is $m \ll 1$, dan kan de laatste term in (14) worden verwaarloosd en de amplitude van S_u wordt:

$$\sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \sqrt{a_0 + \left(\frac{a_1 m}{2}\right)^2 + \left(\frac{a_2 m}{2}\right)^2 + C\cos(\omega_m t+\psi)}.$$

Deze periodieke functie kan in een Fourierreeks van louter cosinusfuncties worden ontwikkeld:

$$\sqrt{B_1^2 + B_2^2} = b_0 + \sum_{n=1}^{\infty} b_n\cos n(\omega_m t+\psi).$$

De grondterm is $b_1\cos(\omega_m t+\psi)$ en heeft dus ten opzichte van de modulatie van het ingangssignaal S_i (zie verg. 2) de fazeverschuiving ψ, waaruit formule (5) voor de modulatiefazelooptijd volgt.

Samenvatting. Fazedistorsie treedt op indien de tijd die een signaal nodig heeft om een netwerk te doorlopen afhangt van de frequentie. Al naar gelang het signaal rechtstreeks of als modulatie op een draaggolf het netwerk passeert, heeft men te maken met de „normale" fazelooptijd of met de modulatiefazelooptijd. De fazelooptijd kan men rechtstreeks afleiden uit de fazekarakteristiek van het onderzochte netwerk, voor de bepaling van de modulatiefazelooptijd heeft men ook nog de amplitudekarakteristiek nodig. De fazekarakteristiek kan men practisch het beste vinden door de afgeleide van deze kromme, d.i., op het teken na, de zg. groeplooptijd, te bepalen als functie van de frequentie.

Er wordt een apparatuur beschreven waarmee groeplooptijden van netwerken en meer speciaal van televisieontvangers kunnen worden gemeten met een nauwkeurigheid van 10^{-9} sec. Het meten van groeplooptijden geschiedt door het meten van fazeverschillen, zodat de apparatuur in wezen een zeer gevoelige fazeverschilmeter is. De werking berust daarop dat de frequentie van een oscillator wordt beïnvloed door in het oscillatiecircuit de te meten fazeverschuiving te introduceren. Een discriminator zet de verandering van de oscillatiefrequentie om in een spanningsverandering. Deze wordt gemeten met een buisvoltmeter die geijkt is in nanosec (10^{-9} sec) en waarop men dus rechtstreeks de gezochte groeplooptijd, of in de meeste gevallen een groeplooptijdverschil, afleest. Bepaalde complicaties treden op bij metingen aan het videogedeelte van televisieontvangers, waardoor bij zulke metingen het gebruik van een speciaal voorzetapparaat noodzakelijk is. In het artikel zijn de resultaten van enkele practische metingen opgenomen, ten einde een indruk te verschaffen van de gegevens die men met behulp van de apparatuur kan verkrijgen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

BOEKBESPREKING

Manual for the illuminating engineer on large size perfect diffusors, door H. Zijl, 196 blz., 120 figuren, 49 grafische voorstellingen. — Philips Technische Bibliotheek — Meulenhoff & Co. N.V., Amsterdam.

De ontwikkeling van de verlichtingstechniek gaat in die richting dat de van ouds bekende benadering van een installatie door „puntvormige lichtbronnen" gaandeweg haar zin verliest. Benaderende uitdrukkingen voor de verlichtingssterkte van uitgebreide lichtbronnen zijn bekend genoeg. De schrijver van dit boek interesseerde zich echter voor exacte uitkomsten, liefst weergegeven in gesloten vorm met eenvoudige functies, zodat numerieke berekeningen met behulp van logarithmentafels e.d. gemakkelijk kunnen worden uitgevoerd. Deze exacte uitkomsten kunnen alleen worden verkregen door het uitrekenen van een aantal vaak bewerkelijke integralen. Door bijzondere omstandigheden was de schrijver in staat aan het gestelde probleem veel tijd te besteden, zodat het doel grotendeels bereikt werd. Het resultaat van zijn noeste vlijt is neergelegd in dit boek.

Om de stof te beperken, worden slechts behandeld de verlichtingssterkte in een bepaald punt en de gemiddelde waarde ervan langs rechte lijnstukken of op rechthoekige oppervlakken, en alleen die lichtbronnen worden in aanmerking genomen waarvan de lichtsterkteverdeling één van de drie volgende geïdealiseerde vormen bezit: die van de ideale vlakke verstrooier, die van de isotrope straler of die van de cylindrische straler. Van deze lichtbronnen wordt dan nog ondersteld dat ze alle gelijke helderheid hebben. De te verlichten ruimte is een rechthoekige doos (parallelopipedum) met hoogte h en zijden van het grondvlak a en b, en de genoemde lichtbronnen worden gedacht te zijn aangebracht in één bepaald punt van het plafond, in de punten van een rechte lijn of in die van een rechthoekig oppervlak.

Om het aantal formules dat moet worden berekend, nog verder te beperken, werden de in de practijk voorkomende situaties in hoofdstuk III herleid tot een relatief klein aantal standaardgevallen. De lichtbronnen werden hierbij gelocaliseerd in de hoekpunten van het bovenvlak van het parallelopipedum, op de snijlijn van dat vlak met een der zijvlakken, op de snijlijn van twee zijvlakken, in het bovenvlak zelf òf ten slotte in een der zijvlakken. De gemiddelde verlichtingssterkte werd berekend voor het grondvlak en voor de zijden en hoekpunten daarvan. Het aantal standaardgevallen bedraagt voor vlakke lichtbronnen 18, voor isotrope 11 en voor cylindrische 12.

Door een 50-tal grafische voorstellingen en een duidelijke beschrijving van de manier waarop deze worden toegepast, is de practische waarde van het werk belangrijk vergroot. De schrijver laat zien dat in elke standaardsituatie de gemiddelde verlichtingssterkte E kan worden uitgedrukt door:

$$E = \frac{\Phi}{h^2 P(A,B)},$$

waarin Φ = de lichtstroom van alle lichtbronnen, $A = a/h$, $B = b/h$, en P een karakteristieke functie van A en B is voor de beschouwde standaardsituatie. In de grafische voorstellingen — voor elke standaardsituatie één — met coördinaatassen A en B zijn lijnen getekend waarop de functie P constante waarden heeft.

De laatste hoofdstukken van het boek zijn ten dele gewijd aan meer theoretische beschouwingen, o.a. over het „veld" van de lichtstroom en de fotometrische afstandswet. De practijk van de verlichtingskunde komt tot zijn recht in hoofdstuk X, waarin enige voorbeelden worden behandeld, in hoofdstuk XII, dat een uitgebreide tabel bevat van verlichtingsrendementen, berekend volgens de in het boek behandelde methode, en in hoofdstuk XIV, over „Daglicht".

Het geheel vormt een boeiende monografie over een onderwerp dat in de toekomst steeds meer deskundigen op het gebied der verlichting zal interesseren.

A. A. KRUITHOF.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

2070: B. Verkerk en A. H. W. Aten Jr.: Radiations from arsenic 70 (Physica **18**, 974-975, 1952, No. 11).

Beschrijving van de bereiding van het arsenicumisotoop As^{70} door bombarderen van arsenicumvrij germaniumoxyde met deuteronen van 26 MeV. De halfwaardetijd is 52 ± 1 min. Positonen worden uitgezonden met een maximumenergie van 2,7 MeV. De bovenste grens voor de verhouding K-vangst/β-emissie is 0,2. Behalve de annihilatiestraling worden per positon gemiddeld ongeveer 2 gamma-quanta uitgezonden met energieën van ongeveer 1,3 MeV.

2071: B. H. Schultz: Regenerators with longitudinal heat conduction (Proc. gen. discussion on heat transfer 1951, pp. 440-443, Inst. Mech. Engrs. London).

Voor het rendement η van een niet-onderverdeelde regenerator (bijv. in een heetgasmotor) geldt in het geval van grote warmtecapaciteit:

$$\eta = 1 - 2\frac{1 + \Lambda l}{q}.$$

l is de lengte van de regenerator, Λ de gereduceerde oppervlakte, en q is een functie van Λ en van de verhouding van de warmteconductantie tot de warmtecapaciteit van de regenerator. Aangetoond wordt dat vermoedelijk dezelfde formule geldt voor een onderverdeelde regenerator (bestaande uit een aantal dunne schijven zonder warmtecontact), mits de gereduceerde warmtecapaciteit Γ groot is, nl. $\Gamma > 3$ (Γ is de warmtecapaciteit van het materiaal gedeeld door die van het gas dat in één periode van de motor doorvloeit).

2072: H. J. P. Wijn: A new method of melting ferromagnetic semiconductors. $BaFe_{18}O_{27}$, a new kind of ferromagnetic crystal with high crystal anisotropy (Nature **170**, 107, 1952, 25 Oct.).

Beschrijving van een methode voor het prepareren van macroscopische eenkristallen van magnetiet (Fe_3O_4) en van diverse ferrieten ($MeFe_2O_4$, waarin Me = tweewaardig metaal). Het mengsel van oxydes wordt in een stikstofatmosfeer hoogfrequent gesmolten in een kroes van Al_2O_3 met een deksel van rhodium of iridium, en daarna gekoeld in een zuurstofhoudende atmosfeer met zuurstofdruk gelijk aan de evenwichtsdruk bij het smeltpunt. Daarbij worden eenkristallen verkregen in de vorm van dunne plaatjes met afmetingen van enkele mm. Door toevoeging van een juiste hoeveelheid bariumcarbonaat werden hexagonale kristallen verkregen van $BaFe_{18}O_{27}$ ($c = 32{,}8$ Å) met een grote kristalanisotropie.

2073: P. B. Braun: Crystal structure of $BaFe_{18}O_{27}$ (Nature **170**, 107, 1952, 25 Oct.).

Gegevens over de kristalstructuur van hexagonaal $BaFe_{18}O_{27}$ (zie deze overzichten No. **2072**).

2074: J. Volger: Anomalous specific heat of chromium oxide (Cr_2O_3) at the antiferromagnetic Curie temperature (Nature **170**, 1027, 1952, 13 Dec.).

De susceptibiliteit van Cr_2O_3 werd als functie van T gemeten tussen 80 en 550 °K. De curve vertoont een knik bij ongeveer 318 °K (45 °C). Eveneens als functie van T werd de soortelijke warmte c_p bepaald. Deze vertoont een scherpe piek bij 298 °K (35 °C), ten gevolge van het verdwijnen van de antiferromagnetische ordening bij die temperatuur.

2075: A. L. Stuyts, G. W. Rathenau en E. W. Gorter: Preferred crystal orientation in ferromagnetic crystals (J. appl. Phys. **23**, 1218, 1952, No. 11).

Een gesinterd permanent-magnetisch materiaal met als hoofdbestanddeel $BaFe_{12}O_{19}$ heeft bij willekeurige orientatie der kristallieten $(BH)_{max} =$ 6,5 tot $8{,}5 \cdot 10^4$ J/m³ (0,8 tot $1{,}1 \cdot 10^6$ gauss-oersted). Door de kristallen vóór het sinteren magnetisch te richten, krijgt men $(BH)_{max}$-waarden die ongeveer driemaal zo groot zijn (zie deze overzichten No. **2059**).

2076: P. B. Braun: A superstructure in spinels (Nature **170**, 1123, 1952, 27 Dec.).

Gevonden werd dat $LiFe_5O_8$ bij benadering een spinelstructuur bezit, maar met een superstructuur. Beneden 735 °C zijn vier lithiumionen op geordende wijze verdeeld over zestien octaëderholten (met ordening over lange afstand). Boven 755 °C is deze ordening volledig verdwenen. Door snel koelen, van 950 °C af, krijgt men de ongeordende phase bij kamertemperatuur. $LiAl_5O_8$ vertoont hetzelfde gedrag, maar het overgangsgebied ligt bij hogere temperaturen. Er wordt op gewezen dat water-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

houdend γ-Fe_2O_3 soms dezelfde superstructuur vertoont als $LiFe_5O_8$ en wellicht nadert tot de samenstelling HFe_5O_8.

2077: H. de Lange Dzn.: Experiments on flicker and some calculations on an electrical analogue of the foveal systems (Physica **18**, 935-950, 1953, No. 11).

De schrijver gaat de reactie na van zijn rechteroog op flikkerlicht. Onderzocht werd bij welke frequentie f_c het flikkeren juist verdwijnt bij verschillende helderheidsvariaties van een centraal testveldje van 2°, omgeven door een groot veld van constante helderheid, gelijk aan de gemiddelde helderheid van het testveldje.

Bij constante gemiddelde helderheid blijkt slechts de rimpelverhouding

$$r = \frac{\text{amplitude van de eerste Fourier-component}}{\text{gemiddelde helderheid}}$$

van de stimulus bepalend te zijn voor f_c. Wordt r tegen f_c uitgezet, dan vallen de (bij een constante gemiddelde helderheid) met de diverse tijdfuncties verkregen meetpunten op één kromme, die bij kleine helderheid monotoon is. Bij hogere helderheidsniveaus treedt echter meer en meer een resonantie-effect op bij f = ca. 9 Hz. Onder deze omstandigheden blijkt de waarde van r, nodig om het flikkeren te doen verdwijnen, kleiner te zijn dan 1,35%, zijnde de waarnemingsdrempel voor een sinusvormige helderheidsvariatie in het helderheidsgebied van ca. 1 tot 100 cd/m², bepaald bij $f \approx 1$ Hz. Onder gebruikmaking van een dergelijk stel frequentiekarakteristieken, opgemeten onder practische omstandigheden, is het, met behulp van Fourier-analyse, mogelijk f_c te berekenen voor elke gewenste helderheidsvariatie, met of zonder strooilicht, mits $r > 2\%$. In analogie met een electrisch systeem, samengesteld uit een fotocel, een filter dat slechts lage frequenties doorlaat, een niet-lineair element dat de lichtvariaties omzet in een aantal impulsen, en een tegenkoppeling, zou kunnen worden ondersteld, dat in het gezichtsorgaan (van retinareactie tot helderheidsindruk) eveneens een „tegenkoppelcircuit" van de hersenen terug naar de retina aanwezig moet zijn, met een looptijd van ca. $^1/_{80}$ sec.

2078: W. K. Westmijze: Gap-length formula in magnetic recording (Acustica **2**, 292, 1952, No. 6).

Er wordt een formule gegeven voor de invloed van de spleetlengte van de weergeefkop op de frequentiekarakteristiek, waardoor metingen met lange spleet in overeenstemming worden gebracht met die met korte spleet (zie deze overzichten Nos. **R 213, R 214, R 217** en **R 222**).

2079: H. G. van Bueren: On the attraction between a perfectly conducting plate and a thin perfectly conducting cylinder (Proc. Kon. Akad. Wet. Amsterdam **B55**, 493-499, 1952, No. 5).

Analoog aan de door Casimir afgeleide formule $\delta E = -(\pi^2/720)(h/2\pi)c\,A/R^3$ voor de wisselwerkingsenergie tussen twee parallelle geleidende platen (met oppervlakte A), ten gevolge van de nulpuntsenergie van het electromagnetische veld, wordt de interactie-energie berekend voor het geval van een vlakke plaat en een daarmee evenwijdige cylinder (draad van geringe diameter). Gevonden wordt $\delta E = -(3/16\pi)(h/2\pi)c\,r_0^2\,L/R^4$, waarin r_0 = straal en L = lengte van de cylinder. In het geval $r_0 = 2\,\mu$, $R = 5\,\mu$, is de kracht even groot als die ten gevolge van een electrisch potentiaalverschil van 0,3 mV.

2080: H. Bruining: Quelques points de vue nouveaux concernant la construction et l'utilisation de l'image iconoscope (Le Vide **7**, 1248-1255, 1952, No. 42).

In dit artikel over de constructie van een beeld-iconoscoopbuis wordt in het bijzonder ingegaan op het vermijden van de ionenvlek. Dit wordt bewerkstelligd door een fijn rooster nabij de fotokathode op te stellen, waardoor concentratie van de ionenbundel vermeden wordt. Verder wordt gewezen op de voordelen verbonden aan de toepassing van een L-kathode (diffusiekathode) in het electronenkanon. Verder wordt een electronenlens beschreven waarmee de brandpuntsafstand van de camera continu kan worden gevarieerd. Ook worden schakelingen beschreven ter bevordering van de gelijkmatige helderheid, speciaal aan de randen van het beeld. (Zie ook Philips techn. T. **14**, 282-290, 1952, No. 10.)

2081: B. D. H. Tellegen: Synthesis of four-poles (Proc. Symp. Modern network synthesis, Polyt. Inst. Brooklyn, New York 1952, pp. 40-49).

Algemene beschouwingen over de synthese van vierpolen die geen en die wèl „gyratoren" bevatten. In het bijzonder worden besproken: de overdrachtsgrootheden (Eng. transfer functions), het begrip „orde van een vierpool", en de polynomen welke een vierpool bepalen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

2082: J. L. Meijering: Calculs thermodynamiques concernant la nature des zones Guinier-Preston dans les alliages aluminium-cuivre (Rev. Métall. **49**, 906-910, 1952).

Volgens de calorimetrische metingen van Oelsen en Middel aan vaste Al-Cu-legeringen is de mengenthalpie over het hele concentratiegebied negatief. Dit schijnt in strijd met het gangbare beeld van de eerste stadia van de uitscheidingsharding in aluminium met 5% Cu; dit beeld verlangt namelijk (tenzij men zijn toevlucht neemt tot gedwongen verklaringen) een neiging tot ontmenging in de midzijds kubische phase, welke normaliter gepaard gaat met een positieve mengenthalpiekromme. In dit artikel wordt, door combinatie van de calorimetrische gegevens met de oplosbaarheidskromme van Al_2Cu in Al, aangetoond dat de mengenthalpiekromme gedeeltelijk concaaf, gedeeltelijk convex verloopt; de tegenstrijdigheden vervallen daardoor. Dergelijke sterk asymmetrische mengenthalpiekrommen moeten ook in de systemen Al-Ag en Pt-Ag voorkomen.

2083: J. I. de Jong, J. de Jonge en H. A. K. Eden: The formation of trimethylol urea (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **72**, 88-90, 1953, No. 1).

Het blijkt dat in een geconcentreerde waterige oplossing en in tegenwoordigheid van een overmaat formaldehyde meer dan twee methylolgroepen aan een molecuul ureum kunnen worden gebonden. De evenwichtsconstante voor de vorming van trimethylolureum werd bepaald.

2084: K. H. Klaassens en C. J. Schoot: Derivatives of p-diethoxybenzene, I. 1,4-diethoxy-2-chlorobenzene-5-diazonium-borofluoride (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **72**, 91-93, 1953, No. 1).

Beschrijving van een methode om de in de ondertitel genoemde verbinding te bereiden, inclusief structuurbewijs.

2085: W. J. Oosterkamp: The radiography of the human body with radioactive isotopes (Brit. J. Radiology **26**, 111, Febr. 1953).

De intensiteit der uitgezonden gamma- of röntgenstralen van een aantal radio-isotopen, per mm^2 oppervlakte, van een preparaat met een dikte gelijk aan de halfwaardedikte (doch maximaal 10 mm), wordt vergeleken met de emissie, per mm^2 focusoppervlakte, van röntgenbuizen (met stilstaande en draaiende anode). Aangetoond wordt dat het gebruik van radio-isotopen voor medische radiografie slechts voordelen biedt in die gevallen waarbij een röntgenbuis niet kan worden gebruikt, bijv. indien men de stralingsbron binnen in het te onderzoeken object wil plaatsen.

2086: J. D. Fast: Metallurgical research in the Netherlands (Metal Progress **63**, 109-111, 1953, No. 1).

Enkele resultaten op het gebied van metaalonderzoek in Nederland. Besproken worden o.a. onderzoekingen over: het dieptrekken, de invloed van inclusies zoals silicium-, tin- en aluminiumoxyde in plaatmateriaal op de levensduur van gereedschap dat voor het snijden van plaat gebruikt wordt, trekbaarheid en brosheid van plaatmateriaal, permanente magneten („Ticonal" en „Ferroxdure"), gassen in metalen, oxydatieharding, invloed van bijmengsels op de oxydatiesnelheid van metalen, brosheid van ijzer onder invloed van zuurstof, en contactlassen.

2087: J. M. Stevels: Note on the ultraviolet transmission of glasses (Proc. 11th int. Congr. pure appl. Chem. **5**, 519-522, 1953).

Beschouwingen over de invloed van brug-zuurstofionen en zwevende zuurstofionen op de ultraviolette absorptiegrens van glazen; brug-zuurstofionen doen de absorptiegrens naar kleinere golflengten verschuiven, zwevende zuurstofionen naar grotere golflengten.

2088: J. I. de Jong en J. de Jonge: Kinetics of the formation of methylene linkages in solutions of urea and formaldehyde (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **72**, 139-156, 1953, No. 2).

Onderzoek naar de kinetiek van de reacties tussen monomethylolureum, dimethylolureum en ureum in zure waterige oplossingen. Er bestaat een duidelijke aanwijzing dat de condensatiereactie in alle gevallen van hetzelfde type is, nl. een bimoleculaire reactie tussen een amidomethylolgroep en een amidogroep, waardoor methyleenbindingen tussen ureumfragmenten worden gevormd:

$$\text{-NH-CH}_2\text{OH-HNH} \rightarrow \text{-NH-CH}_2\text{-NH-} + \text{H}_2\text{O}.$$

De constante van deze reactie is evenredig met de H-ionenconcentratie en blijkt verder af te hangen van het type amidogroep of amidomethylolgroep. De activeringsenergie is ongeveer 15 kcal/mol. De reactie tussen twee moleculen dimethylolureum is twijfelachtig en in elk geval zeer traag. De vorming van cyclische structuren door trimerisatie van monomeer methyleenureum en de vorming van dimethyleenetherbindingen tussen ureumfragmenten kan uitgesloten worden geacht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!